



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS

Juliana do Amaral Scarsanella

**MICROORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL
EM *Paspalum notatum* FLÜGGE CULTIVADO EM SOLO CONSTRUÍDO PARA
REABILITAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Florianópolis

2022

Juliana do Amaral Scarsanella

**MICROORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL
EM *Paspalum notatum* FLÜGGE CULTIVADO EM SOLO CONSTRUÍDO PARA
REABILITAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação de Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Paulo Emílio Lovato, Dr.

Coorientador: Prof. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Scarsanella, Juliana do Amaral Scarsanella
Microorganismos promotores do crescimento vegetal Em
paspalum notatum Flüge cultivado em solo construído para
reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão /
Juliana do Amaral Scarsanella Scarsanella ; orientador,
Paulo Emilio Lovato Lovato, coorientador, Cláudio Roberto
Fonsêca Sousa Soares Soares, 2022.
66 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Efeito de
inoculantes de microrganismos em solos de empréstimo
utilizados em reabilitação de áreas degradadas. I. Lovato,
Paulo Emilio Lovato. II. Soares, Cláudio Roberto Fonsêca
Sousa Soares. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais.
IV. Título.

Juliana do Amaral Scarsanella

Microrganismos promotores do crescimento vegetal
Em *paspalum notatum* Flügge cultivado em solo construído para reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^a. Dr^a. Fernanda Kokowicz Pilatti
(IFSul), Campus Pelotas - Visconde da Graça

Dr^a. Emanuela Pille da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Dr^a. Rosete Pescador
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Mestre em Ciências

Coordenação do Programa de Pós-Graduação de Recursos Genéticos Vegetais

Prof. Paulo Emílio Lovato, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Universidade Federal de Santa Catarina pelo meu conhecimento até então adquirido e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, pelo financiamento do meu trabalho a partir da bolsa de estudo.

A minha família, meu pai João Valentim e minha mãe Ana Lúcia por todo apoio aos longos dos anos, a me ensinarem por meio de exemplo, o quanto o conhecimento é valioso e se empenharem na construção da minha carreira acadêmica mesmo quando parecia impossível.

Ao meu irmão Raphael, minha cunhada Karine e minha sobrinha Beatricce que mesmo de longe sempre torceram e me deram apoio.

Ao meu marido Fábio Carneiro, por todo apoio, amor, dedicação e paciência em tempos conturbados.

Aos meus colegas de laboratório, Edenilson Meyer, André Steiner Vieira, Bárbara Santos Ventura, Anna Flávia Neri de Almeida e Marcelo Bentacur Agudelo por toda ajuda, suporte e acolhimento, deixando a vida de trabalho e estudo mais leve.

Ao meu orientador, Paulo Emílio Lovato, que confiou no meu trabalho mesmo quando eu mesma duvidei, sempre com paciência e sabedoria soube passar seus conhecimentos e me instigar a ser melhor.

Ao meu coorientador Cláudio R. F. S. Soares, pela pronta assistência, aos demais professores do curso de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais, em especial a Maurício Sedrez dos Reis.

Aos amigos que me auxiliaram nas etapas de laboratório, Lucas Mendes, João Pedro Piologo, Rafael Antônio e Leonardo K. Giovanetti Oliveira e Soraia Fernanda Silva, com os quais aprendi muito e espero ter retribuído.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP), que contribuíram para o desenvolvimento dos estudos.

A todos os colegas e amigos do Centro de Ciências Agrárias que me contribuíram para realização desse trabalho.

MEU MUITO OBRIGADA.

*“A natureza é o único livro que oferece um
conteúdo valioso em todas as suas folhas.”*

(Johann Wolfgang von Goethe)

RESUMO

A extração de carvão no sul de Santa Catarina resultou em milhares de hectares de áreas degradadas. Essas áreas estão sendo reabilitadas num esforço conjunto que envolve instituições de investigação. O grupo de investigação (Laboratório de Microorganismos e Processos Biotecnológicos, Universidade Federal de Santa Catarina) utiliza microorganismos para recuperar a flora local nesses locais degradados. Este trabalho estudou a interação entre o fungo micorrizal arbuscular (AMF) *Rhizophagus intraradices* e a bactéria *Azospirillum brasilense* em plantas de *Paspalum notatum* utilizadas para a reabilitação de sítios degradados pela extração de carvão. O solo emprestado recebeu cama de aves ou fertilizante mineral e foi inoculado com os microorganismos em inoculação de forma única ou combinada, o *Azospirillum brasilense* foi utilizado inoculado em raízes ou pulverizado nas folhas das plantas. Após 35 dias numa estufa, a altura das plantas foi medida, e aos 120 dias, foram recolhidas amostras para determinar a massa seca e o conteúdo e acumulação de P e N. Foram recolhidas raízes para determinar a massa seca das plantas, teor e acumulação de P e N, e colonização micorrízica. Foram coletadas amostras de solo em torno das raízes para a contagem de esporos de FMA. Com 120 dias, as camas de aves promoveram melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo, tais como o aumento de P e matéria orgânica disponível. A aplicação de cama de aves aumentou o crescimento e o estabelecimento inicial de plantas de *P. notatum*. A co-inoculação de *R. intraradices* e *Azospirillum brasilense* não afetou o crescimento de *P. notatum*, mesmo com diferentes métodos de aplicação de *Azospirillum*. A inoculação de AMF não afetou as plantas, pois fungos micorrízicos autóctones existiam no solo emprestado.

Palavras-chave: *Paspalum notatum*. *Rhizophagus intraradices*. *Azospirillum brasilense*. FMA.

ABSTRACT

Coal extraction in southern Santa Catarina has resulted in thousands of hectares of degraded land. Those areas are being rehabilitated in a joint effort involving research institutions. Our research group (Laboratory of Microorganisms and Biotechnological Processes, Federal University of Santa Catarina) uses microorganisms to recover the local flora in those degraded sites. This work studied the interaction between the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Rhizophagus intraradices* and the bacteria *Azospirillum brasilense* in *Paspalum notatum* plants used for the rehabilitation of sites degraded by coal mining. Borrowed soil received poultry litter, or mineral fertilizer was inoculated with the microorganisms in single or combined inoculation, and *Azospirillum brasilense* was used inoculated in roots or sprayed on plant leaves. After 35 days in a greenhouse, plant height was measured, and at 120 days, shoots were collected to determine dry mass and P and N content and accumulation. Roots were collected to determine plant dry mass, P and N content and accumulation, and mycorrhizal colonization. Soil samples were collected from around the roots for AMF spore counts. At 120 days, poultry litter promoted improvements in soil physical and chemical properties, such as increased available P and organic matter. Application of poultry litter increased growth and initial establishment of *P. notatum* plants. Co-inoculation of *R. intraradices* and *Azospirillum brasilense* did not affect the growth of *P. notatum*, even with different methods of *Azospirillum* application. AMF inoculation did not affect the plants, as it appears that autochthonous mycorrhizal fungi existed in the borrowed soil.

Key-words: *Paspalum notatum*. *Rhizophagus intraradices*. *Azospirillum brasilense*. AMF.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Mapa com a área de coleta do solo em local de reabilitação de degradação por mineração de carvão na Região Carbonífera no sul de Santa Catarina..... | 32 |
| Figura 2 – Esquema visual dos tratamentos utilizados no ensaio de Cama de aviário..... | 34 |

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AC – Colonização Arbuscular

AIA – Avaliação dos Impactos Ambientais

Al – Alumínio

ANOVA – Análise de Variância

Arb – Arbúsculos

BPCP – Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas

CA – Cama de Aviário

CAV- UDESC – Centro de Ciências Agrárias da Universidade do Estado de Santa Catarina

CBCA – Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá

Cfa – Clima Subtropical Úmido

CTC – Capacidade de Troca de Cátions

Cu - Cobre

DAM – Drenagem Ácida de Mina

EIA – Estudo de Impactos Ambientais

Fe - Ferro

FeS₂ – Dissulfeto de ferro (Pirita)

FMA – Fungo Micorrízico Arbuscular

HCl – Ácido Clorídrico

IVAM – *International Culture Collection of (Vesicular -) Arbuscular Mycorrhizal*

Fung

K – Potássio

KOH – Hidróxido de Potássio

LI – Licença de Instalação

LMPB – Laboratório de Microrganismos e Processos Biotecnológicos

LO – Licença de Operação

LP – Licença Prévia

Mg – Magnésio

MSPA – Massa Seca da Parte Aérea

MSR – Massa Seca da Raíz

N – Nitrogênio

NI – Não Inoculado

NMA – CTCL – Núcleo de Meio Ambiente do Centro Tecnológico do Carvão Limpo

NPK – Adubação Mineral

P - Fósforo

pH – Potencial Hidrogeniônico

P2O5 – Superfosfato Triplo

R – Número de vesículas

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SER – *Society for Ecological Restoration*

SMP – Método Shoemaker, Mac Lean e Pratt

TAC – Termo de Ajustamento de Conduta

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

VC – Colonização Vesicular

Ves – Vesículas

Zn - Zinco

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Atributos químicos, no início e no final do experimento, de solo adubado com cama de aviário (C.A. Final) ou adubação mineral (NPK Final).....38
- Tabela 2** - Altura (35 dias), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca da Raiz (MSR) (120 dias) de plantas de *Paspalum notatum*, ou não com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e *Azospirillum brasilensis* nas sementes (Ai), pulverizada na parte aérea (Af) ou não inoculadas (NI), em solos com cama de aviário ou adubação mineral (NPK).....39
- Tabela 3** - Porcentagem de colonização micorrízica, arbúsculos (Arb), vesículas (Ves) e número de esporos por 50 cm³ solo de raízes de plantas de *Paspalum notatum*, com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e *Azospirillum brasilensis* nas sementes (Ai), pulverizada na parte aérea (Af) ou não inoculadas (NI), em solos com cama de aviário ou adubação mineral (NPK).....42
- Tabela 4** - Teor e acúmulo (acum) de nitrogênio e fósforo em *Paspalum notatum* inoculado com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e *Azospirillum brasilense* nas sementes (Ai), pulverizada na parte aérea (Af) ou não inoculadas (NI), em solos com cama de aviário ou adubação mineral.....44

APÊNDICES

| | |
|---|----|
| APÊNDICE A1 – Análise de variância da Massa seca da raiz (MSR), Massa seca da parte aérea (MSPA) e altura aos 35 dias de <i>Paspalum notatum</i> | 65 |
| APÊNDICE A2 – Análise de variância do Número de esporos, Colonização %, Arbúsculos (Arb %) e Vesículas (Ves %) de <i>Paspalum notatum</i> | 65 |
| APÊNDICE A3 – Análise de variância do N teor, P teor, N acumulado e P acumulado da massa seca da parte aérea de <i>Paspalum notatum</i> | 65 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 16 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 | CARVÃO MINERAL E BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA... 17 | |
| 2.1.1 | Impacto ambiental de mineração e áreas degradadas pela mineração de carvão..... | 19 |
| 2.1.2 | Estratégias de reabilitação de áreas degradadas | 20 |
| 2.1.3 | Uso de solos construídos corrigidos, fontes de adubação e revegetação como estratégia de reabilitação de áreas de mineração de carvão..... | 22 |
| 2.1.4 | <i>Paspalum notatum</i> | 24 |
| 2.1.5 | Uso de microrganismos em solos construídos em áreas de recuperação | 25 |
| 2.1.6 | Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) | 27 |
| 2.1.7 | Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal e <i>Azospirillum brasilense</i> . | 29 |
| 3. | HIPÓTESES..... | 31 |
| 4. | OBJETIVOS | 31 |
| 4.1 | OBJETIVO GERAL | 31 |
| 4.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 32 |
| 5. | MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 5.1 | LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SOLO COLETADO..... | 32 |
| 5.2 | LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO..... | 33 |
| 5.3 | PREPARAÇÃO DE SOLO E SEMENTES | 34 |
| 5.4 | COLETA DE DADOS | 35 |
| 5.5 | AVALIAÇÃO DE PESO MASSA SECA DE PARTE AÉREA E RAIZ E ANÁLISE FOLIAR..... | 35 |
| 5.6 | AVALIAÇÃO DE COLONIZAÇÃO E CONTAGEM DE ESPOROS DE FMA | 36 |
| 5.7 | ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 36 |
| 6. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 37 |
| 6.1 | CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO..... | 37 |
| 6.2 | CRESCIMENTO DE <i>P. notatum</i> | 38 |

| | | |
|-----|--|-----------|
| 6.3 | COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA E ESPORULAÇÃO DE FMA | 41 |
| 6.4 | ABSORÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES | 43 |
| 7. | CONCLUSÕES | 46 |
| | REFERÊNCIAS | 47 |
| | APÊNDICES | 65 |

1. INTRODUÇÃO

Com mais de 100 anos de exploração carvoeira, a Região Sul de Santa Catarina foi palco de práticas de manejo de extração de carvão não regulamentadas e sem a presença de legislação ambiental, o que trouxe prejuízos sociais e ambientais (BELOLLI *et al.*, 2002). A mineração causou a supressão da fauna e da flora nativa do local, bem como a diminuição da fertilidade e mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo a partir da oxidação da pirita, redução do pH do solo e aumento da disponibilidade de elementos-traço como cádmio, arsênio, zinco e cobre (SANTOS, 2017; ZORTÉA *et al.*, 2016).

Em 1980, o Governo Federal declarou a região como 14ª área crítica nacional, buscando controlar a poluição (CANCELIER, 2009; SILVA, 2019). Dentre as medidas tomadas está a reabilitação dessas áreas (ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013), que objetiva, segundo a Lei 9.985/2000, contemplar a reversão de um ambiente ou uma população degradada a um ecossistema mais próximo de sua condição inicial (BRASIL, 2000). Para o seu sucesso algumas etapas precisam ser consideradas, como o diagnóstico ambiental e monitoramentos. É um processo complexo que requer tempo e recursos e tem a necessidade de criação de um roteiro (DE-ALMEIDA, 2016).

Para a recuperação de áreas degradadas, diferentes técnicas podem ser utilizadas. O uso de solos construídos, incremento de cobertura vegetal, introdução de microrganismos e suas formas de aplicação e revegetação contribui para a alteração de características físicas e biológicas em solo em condições de degradação. A técnica mais utilizada na região da Bacia Carbonífera do Sul de Santa Catarina é a de solos construídos, a qual consiste na adição de uma camada de cerca de 50 cm de material retirado de outros locais, o qual tem características próprias do seu local de origem (QUINÕES *et al.*, 2008; CAMPOS *et al.*, 2010; ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013).

Em conjunto com essa adição de material combinadas com tipos de adubação (mineral ou/e orgânica), pode se utilizar como cobertura o *Paspalum notatum*, uma gramínea nativa, que pode suprimir gramíneas exóticas e ter pouca competição com as demais plantas utilizadas em projetos de restauração em áreas destinadas para APP (Áreas de preservação permanente) (SOUZA-FILHO, 2006). O *Paspalum notatum* se associa a microrganismos do solo, incluindo fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e bactérias diazotróficas (NUNES *et al.*, 2015) que aumentam a assimilação de nutrientes, como o fósforo e nitrogênio e melhoram a absorção de água, pelo incremento de área superficial do sistema radicular (ELKE *et al.*, 2010). Estudos

identificam interação entre esses organismos, inclusive sinergia ou competição entre microrganismos quando coinoculados (BAREA *et al.*, 2005) seus métodos de aplicações e tipos de adubação podem contribuir positivamente ou negativamente com o desenvolvimento do vegetal em solos contaminados e com fertilidade baixa (FOLLI-PEREIRA *et al.*, 2012; ROSA, 2017).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da coinoculação de fungo micorrízico arbuscular à base de *Rhizophagus intraradices* e de bactéria diazotrófica *Azospirillum brasilense* e de duas fontes de adubação no crescimento e absorção de nutrientes na gramínea *Paspalum notatum* em solo de empréstimo, em área de mineração de carvão na Região Carbonífera no Sul de Santa Catarina em processo de reabilitação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARVÃO MINERAL E BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA

O carvão mineral é um dos primeiros recursos energéticos não renováveis explorados em larga escala pelo homem (ANEEL, 2008), que teve grande importância até a inclusão do petróleo na matriz energética da sociedade (SOARES *et al.*, 2008). Trata-se de uma rocha sedimentar de composição desuniforme, constituída de matéria orgânica vegetal que sofreu compactação por soterramento. Com a ausência de oxigênio combinada com temperatura e pressão por milhares de anos, sua decomposição por microrganismos é impedida. Esse ambiente controlado gera uma espécie de turfa no qual ao longo do tempo diminui sua composição de O₂ e H₂O e aumenta seu teor de carbono, transformando-se gradativamente em linhito, hulha e antracito (CARNIATO, 2005; AGUIAR; BALESTIERE, 2007).

O carvão é minerado por dois principais métodos de lavra, a lavra subterrânea e a céu aberto. A lavra subterrânea é realizada quando a jazida se encontra em camadas com profundidade maior que 30 metros. Nesse método, mesmo não ocorrendo a remoção das camadas superficiais, geram-se impactos ambientais pelo beneficiamento e deposição de rejeitos de carvão nas áreas. O método a céu aberto é efetuado quando a jazida se encontra em profundidade menor que 30 metros. Este consiste na remoção de grande parte da superfície do solo, gerando pilhas de materiais que cobrem a camada de solo de maior fertilidade, o que suprime a atividade microbiana e vegetal da área (GERMANI, 2002; ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013).

Mundialmente o mineral é utilizado para geração de energia e produção de aço (ANEEL, 2008). No entanto, no Brasil, o carvão possui baixa qualidade (MACEDO, 2003), sendo predominantemente usado para geração de energia elétrica. Tal é o caso de Santa Catarina, que teve a construção da Usina Termoelétrica Jorge Lacerda no município de Capivari de Baixo, localizada a 73 km da cidade de Cricúma na década de 60 (SANTA CATARINA, 1991). Com o gás produzido, ainda são gerados produtos como fertilizantes, combustíveis líquidos, lubrificantes, entre outros (DNPM, 2010; PINHO; PREVE, 2015)

A primeira mina de carvão inaugurada em Santa Catarina foi estimulada pelo Visconde de Barbacena pela construção de uma estrada de ferro ligando a região das minas aos portos de Laguna e Imbituba (GOMES *et al.*, 1998, ZANELATTO; GOULARTI-FILHO, 2014). A mineração catarinense foi feita de forma primitiva até a Segunda Guerra Mundial, e posteriormente, passou a ter perfil de indústria. Esse novo estilo econômico na região trouxe um período de migração interna, transformando a população rural agrícola para população urbana operária que passou a trabalhar nas minas (GOMES *et al.*, 1998.; VOLPATO, 1984.; GIASSI, 1994).

A mineração industrial na Bacia Carbonífera de Santa Catarina está inserida entre a Serra Geral, a oeste e o maciço granítico da Serra do Mar, a leste (ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013). Constitui-se de uma faixa com aproximadamente 100 Km de comprimento e 20 Km de largura, atingindo as bacias hidrográficas dos rios Tubarão, Urussanga e Araranguá, com aproximadamente dez camadas de carvão, porém somente duas apresentam importância econômica (GOMES *et al.*, 1998; RAVAZZOLI, 2013).

Essas duas camadas (Camada Treviso e Barro branco) de carvão foram mais intensamente exploradas devido a característica coqueificáveis da camada Barro Branco, utilizada para indústria de coque e para utilização na geração de energia elétrica nas termoelétricas de Tubarão. Estas foram exploradas pela técnica de mineração a céu aberto, na qual há a inversão das camadas do solo. Por conta da disposição inadequada dos rejeitos e seus efeitos danosos houve uma perda significativa da biodiversidade, o que comprometeu a vida nessas áreas (GOMES *et al.*, 1998; RAVAZZOLI, 2013).

A região foi considerada como a 14ª Área Crítica Nacional pelo Decreto Federal 85.206/80 por apresentar sérios problemas de contaminação de recursos hídricos, solo e do ar, deixando cerca de cinco mil hectares de áreas degradadas e dois terços dos cursos d'água comprometidos. Em 1993, as empresas carboníferas, em conjunto com o Estado de Santa Catarina e a União Federal, iniciaram uma ação civil pública (ACP nº 93.8000533-4) promovida

pelo Ministério Público Federal como forma de recuperar essas áreas degradadas (PINHO; PREVE, 2015). A partir disso, foram criados os Critérios para Recuperação ou Reabilitação de Áreas Degradadas pela Mineração de Carvão, visando a maior controle sobre seus andamentos e progressos.

2.1.1 Impacto ambiental de mineração e áreas degradadas pela mineração de carvão

A falta de planejamento e de técnicas adequadas na mineração de carvão trouxe a degradação do solo pela remoção da camada fértil do solo e alteração do sistema hídrico, provocada por distintas etapas da manipulação do carvão (RAVAZZOLI, 2013; SILVA; FERREIRA, 2015). O rejeito ou estéril era depositado a céu aberto em torno dos locais de mineração até meados dos anos 1990 (CAMPOS *et al.*, 2010). Por conta disso a vegetação e a fauna foram prejudicadas, ocorrendo perda nos processos e funções da sustentabilidade do solo. Muitos locais perderam o poder de se restabelecerem naturalmente. Com frequência, os processos de degradação ocorrem em níveis elevados, sendo necessária a ação antrópica para a sua revitalização, ou ainda podem chegar em danos irreversíveis, que causam a desertificação do local (MINTER, 1990; KOHLRAUSCH; JUNG, 2015).

A contaminação de águas superficiais e subterrâneas é um grande problema que acontece em torno das minas, o que gera a Drenagem Ácida de Mina (DAM). Isso ocorre pela oxidação de minerais de sulfeto, principalmente a pirita (FeS_2), caracterizada por alta acidez, alta concentração de elementos como Al, Fe e Mn, alta condutividade e poder de hidrólise (CAMPANER; LUIZ-SILVA, 2009). Esse processo compromete seriamente não só a vida aquática desses cursos d'água, mas também o abastecimento da população e uso para atividades agrícolas (RAVAZZOLI, 2013).

Outro processo que resulta em degradação ambiental nos locais de mineração é produção da alta percentagem de cinzas. Os processos de queima produzem em torno de 53% do seu volume total minerado. Uma porção do material é utilizada na construção civil, mas grande parte é depositada em bancos estéreis de mineração, suprimindo a vegetação local (SOARES *et al.*, 2006).

Por conta disso o Ministério Público, órgãos ambientais e a sociedade devem acompanhar e desenvolver ações de controle dessas atividades pela fiscalização e políticas públicas visando a diminuição dos impactos ambientais. As áreas degradadas da região carbonífera de Criciúma vêm sendo trabalhadas dentro da Ação Pública, sendo sujeitas a

recuperação ambiental (FURMANSKI *et al.*, 2014). Segundo Borba (2013) o Ministério Público Federal estabeleceu o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) e firmou o Protocolo de intenções nº24/2004, estabelecendo prazos e condições para que as empresas mineradoras realizassem a adequação legal de suas atividades na Região Sul. Em 2006, no Informativo Técnico n.003/2006, houve uma proposta de padronização de recuperação dessas áreas que sofreram degradação pela mineração do carvão.

Na Região Carbonífera de Criciúma, projetos como Mata Ciliar já estão em processo de estudos e implantação. Esse projeto está sendo estudado em 6.700 hectares degradadas pela mineração pelo Núcleo de Meio Ambiente do Centro Tecnológico do Carvão Limpo (NMA – CTCL), juntamente com o Centro de Ciências Agrárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV – UDESC) e a Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), com apoio da Justiça Federal da 4ª Região (ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013). Dentre as técnicas impostas pelo projeto está a de revegetação.

Outros estudos estão sendo feitos pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Microrganismos e Processos Biotecnológicos (LMPB) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) desde o ano de 2010. Nos trabalhos são desenvolvidos o isolamento, caracterização e seleção de microrganismos com potencial para auxiliar na recuperação da flora dessas áreas.

2.1.2 Estratégias de reabilitação de áreas degradadas

As áreas acometidas de forma negativa pela mineração podem ser devolvidas a uma melhor condição por meio da reabilitação. Essa estratégia pode ou não envolver o retorno às condições originais de pré-mineração, porém possibilita sua estabilidade, permitindo sua produtividade e equilíbrio (TOY e DANIELS, 1998). A metodologia adotada nessa estratégia deve contemplar as características originais dos locais, respeitando sua flora e fauna (FOX, 1984), por isso organizações de preservação do meio ambiente como a Society for Ecological Restoration (SER) conta com uma equipe multidisciplinar incluindo pesquisadores, profissionais e líderes comunitários (SER, 2020). A SER tem como sua missão promover a prática e política de restauração ecológica para sustentar a biodiversidade e é responsável por produzir padrões para a prática de restauração ecológica em todo o mundo (SER, 2020), incluindo certos padrões e etapas como diagnóstico ambiental e monitoramentos. As etapas incluem o estabelecimento da área por meio de correção química e física do solo, a fim de

facilitar o processo de regeneração e permitir que ocorra a sucessão ecológica e o aumento da biodiversidade, além da escolha das espécies a se utilizar (PEREIRA, 2006; PADILHA *et al.*, 2013; ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013).

São nove os atributos que devem ser considerados como um ecossistema completamente recuperado, são eles: conter o maior número de espécies capaz de estruturar uma comunidade; as espécies devem ser majoritariamente nativas do local; conter grupos funcionais que sustentem a floresta; os fatores físicos devem ser capazes de desenvolver a comunidade restaurada; ter funcionalidades adequadas para o desenvolvimento da espécie; estar conectado a uma paisagem maior onde possa ocorrer fluxos e interações; não apresentar fatores de degradação que ameacem a vida; resiliência e autossuficiência. Para isso, seus fatores bióticos e abióticos devem ser avaliados, por meio dos monitoramentos dessas áreas (SOCIEDADE INTERNACIONAL PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, 2004).

Algumas estratégias estão sendo utilizadas como forma mitigadora dos processos contínuos da mineração, por meio de políticas para minimização e prevenção de novos impactos de minas ainda em funcionamento. Órgãos federais como Ministério do Meio Ambiente agem pelo instrumento de Licenciamento Ambiental composto de três etapas: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), sendo exigidos a Avaliação dos Impactos Ambientais (AIA), o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) como métodos para impor limites e controle da mineração (MMA, 2009; DA SILVA; ANDRADE, 2017).

Outras estratégias objetivam mitigar ações que foram causadas por longos períodos sem controle de autoridades e que hoje são objeto ou passíveis de ações públicas. Muitas empresas tendem a recuperar áreas que já foram degradadas em troca de continuarem com suas atividades, como por exemplo das áreas pertencente às empresas Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá (CBCA) e Treviso S/A, com passivo ambiental de aproximadamente 1.300 hectares de superfície impactados. Quando a restauração é obrigatória, isto é, com a presença de ação pública, um agente público deverá atestar os resultados obtidos, assim como prazos e análise de total estágio de reabilitação que não necessite manutenção.

A criação de protocolos e o avanço da tecnologia para recuperação de áreas degradadas são tema de muitas pesquisas. Técnicas como o uso de agentes biológicos para auxiliarem na recuperação da vida no solo e técnicas físicas e conformação de terreno são itens fundamentais para o sucesso de um projeto de recuperação de um ecossistema (SILVA; SANTOS; GOMES, 2004; ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013). Outro ponto importante é a escolha de espécies

vegetais com potencial de recuperação dessas áreas degradadas. A inclusão de espécies herbáceas para recobrimento do solo, contribui para o incremento de matéria orgânica e minimização do processo de erosão, proporcionando um ambiente tolerável para espécies arbustivo-arbóreas e arbóreas nativas do local (CITADINI-ZANETTE, 1999; SANTOS, 2017).

2.1.3 Uso de solos construídos corrigidos, fontes de adubação e revegetação como estratégia de reabilitação de áreas de mineração de carvão

A atividade de mineração de carvão trouxe uma série de mudanças nas características dos solos nesses locais, como se constata a partir de indicadores de qualidade de solo como densidade, água disponível, micro agregados, teores de macronutrientes, carbono orgânico e carbono da biomassa microbiana (SHUKLA; EBINGER, 2004). As mudanças mais expressivas costumam ser a diminuição do pH, relacionadas à DAM e à destruição e compactação das camadas do solo, impedindo a infiltração da água (LEAL, 2008).

As estratégias de usar solos construídos diferem, dependendo da região degradada e da atividade de mineração de carvão e de onde o solo de empréstimo é retirado. O solo construído tem características físicas e biológicas distintas do solo em condição natural, apresentando dificuldades para o desenvolvimento de plantas e microrganismos por falta de nutrientes adequados e estrutura física do solo (QUINONES *et al.*, 2008).

Por isso, em regiões de reabilitação de áreas degradadas pela mineração a céu aberto no Rio Grande do Sul por exemplo, *topsoil* (camada superficial de solo oriunda de outras áreas) e argila são incorporados ao solo degradado, o que proporciona condições para melhorar o desenvolvimento de plantas, como encontrado por Bitencourt *et al.* (2015). A estratégia utilizada na região da Bacia Carbonífera do Sul de Santa Catarina consiste na adição de uma camada em torno de 50 cm de material retirado de áreas a poucos quilômetros das áreas degradadas, que possui características próprias do seu local de origem. Na prática, são incorporados ao novo solo, substratos argilosos, calcário e nutrientes na forma orgânica (coletadas de produtores de aves da região) e/ou em formulações minerais. Esse aporte de nutrientes e calcário nos solos construídos é indispensável para o estabelecimento e desenvolvimento da biodiversidade do local, pois esses solos possuem restrições químicas, físicas e biológicas (CAMPOS *et al.*, 2010; ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013).

O aporte de nutrientes a partir do uso de fertilizantes orgânicos é promissor por contribuir com a melhoria das características nutricionais e também agir como condicionador

físico do solo (LUNARDI NETO *et al.*, 2008). Entretanto, alguns cuidados devem ser observados e o bom planejamento da adição desse substrato no solo de empréstimo é necessário. Estudos revelam que há um desbalanceamento em relação as concentrações de cada nutriente presentes nos adubos orgânicos. Esse desbalanço acontece pelas próprias características dos adubos, seu manejo e maturação (FONG *et al.*, 1999). Por conta disso, é indispensável a análise do solo e de adubos orgânicos, como a cama de aviários, juntamente com a necessidade nutricional de cada espécie vegetal (CONCÓRDIA, 2011).

Ao se utilizar o solo construído com suas características químicas e físicas faz-se necessário o uso de formulações minerais na estratégia de correção nutricional de solos, essa estratégia em conjunto com a adubação orgânica ou isoladamente tem mostrado bons resultados em áreas de reabilitação de mineração de carvão (PEZENTE; SANT ANA, 2018) e essa estratégia pode ser interessante, pois há um controle maior de balanceamento nutricional comparado com o uso único de adubação orgânica.

Costa e Zocche (2009) não observaram diferenças entre tempos de coleta em amostras de solos construídos sem o uso de fertilizantes com diferentes tempos de recuperação, mas encontraram índices baixos de nutrientes e acidez, resultando em plantas de baixo desenvolvimento. Isso corrobora as estratégias de incorporação de nutrientes encontradas em Leal (2008), Bitencourt *et al.* (2015) e Rocha-Nicoleite *et al.* (2013) para melhores dos solos visando a melhor condições para o desenvolvimento de plantas.

Outra estratégia para recuperação de áreas degradadas e é complementar a construção de solos mais ricos quimicamente e estáveis fisicamente, é a revegetação por espécies nativas arbóreas, mas tal prática exige estudos da dinâmica a longo prazo e deve ser fortemente monitorada ao longo de um tempo (FERREIRA *et al.*, 2016). A técnica com espécies nativas arbóreas leva em conta a sucessão ecológica, respeitando a dinâmica do ecossistema nas condições físicas e biológicas em que os solos construídos se encontram (ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013). Klein *et al.* (2009), avaliaram uma área de regeneração natural após mineração de carvão no sul de Santa Catarina e observaram maior adaptação das plantas com espécies classificadas como nativas e pioneiras, que necessitam de luz direta para germinação e desenvolvimento e tem um ciclo de vida mais curto.

O uso de herbáceas específicas em projetos de reabilitação é uma técnica de curto prazo, que visa ao recobrimento do solo para pronta recuperação do local (EMBRAPA, 2003) proporcionando um caminho para a estratégia de longo prazo com o uso de nativas arbóreas. Essa prática contribui para proteção do solo contra erosão pelo efeito dos impactos das gotas

de chuva, visto que as plantas se tornam barreiras às gotas. Além disso, proporcionam maior infiltração reduzindo o escoamento superficial (SANTOS *et al.*, 2001; PEREIRA, 2006; ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013). Outros fatores são a promoção e formação de agregados do solo, aumento do carbono orgânico e da capacidade de troca de cátions, diminuição da evaporação e auxílio na resistência do solo a erosão (MOTTA-NETO, 1995; SANTOS *et al.*, 2001). Entretanto, alguns estudos alertam sobre a capacidade das gramíneas serem inibidoras da regeneração natural, interferindo nas fases de facilitação, inibição e tolerâncias de desenvolvimento sucessional, trazendo prejuízos em área de recuperação (FRAGOSO *et al.*, 2017).

A competição de espécies herbáceas agressivas, que causam morte de mudas de arbóreas, prejudica o avanço do estabelecimento destas. No Projeto Mata Ciliar, na região Carbonífera do Sul de Santa Catarina, foi observada morte de mudas em áreas com cobertura de gramíneas exóticas como braquiárias, o que demonstra que a escolha das espécies vegetais é um fator decisivo para o sucesso do projeto (PEREIRA, 2006; ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013).

Algumas espécies mostraram bons resultados em áreas com rejeitos de carvão, proporcionando bom incremento de matéria orgânica, contribuindo para a formação de macro e microagregados no solo (SILVA *et al.*, 2016; STUMPF *et al.*, 2014), e ainda podem ter capacidade de fitorremediação (referência). Um exemplo de escolha de gramínea para a restauração envolve espécies do gênero *Paspalum*. Estas são consideradas como boa alternativa para recobrimento do solo já que não são espécies agressivas, convivendo bem com outras plantas. Entretanto, não se recomenda sua utilização para a pastagem de animais, pois em um estudo feito em antigas bacias de decantação de finos de carvão mostraram a presença de ferro em sua massa seca acima do aceitável, o que pode causar intoxicação nos animais (ZOCHE, 2005).

2.1.4 *Paspalum notatum*

O gênero *Paspalum* compreende cerca de 400 espécies e se desenvolve bem em condições de clima quente, tropical e subtropical. Por ser originária da América do Sul e Central, pode ser encontrada abundantemente no Brasil, Paraguai e Uruguai (CHASE, 1929; BARRETO, 1974; PEREIRA; LUCENA; SANTOS, 2006). Essa gramínea, conhecida como grama Batatais ou grama Forquilha, tem porte rasteiro, é cespitosa, decumbente e proporciona

um bom recobrimento de solo no período de primavera-verão (ALMEIDA *et al.*, 2006; PEREIRA, 2006; PEREIRA; LUCENA; SANTOS, 2006).

Dentre as muitas espécies do gênero, *Paspalum notatum* foi alvo de melhoramento genético por ser uma forrageira altamente utilizada (SMITH *et al.*, 2002), com boa resistência ao pastejo e pisoteio (POZZOBON; VALLS, 1997). A espécie é também usada em sistema de recuperação de áreas degradadas de pastagens, proporcionando boa quantidade de matéria seca (DUARTE-SILVA *et al.*, 2016), além de controlar a erosão em áreas de empréstimos de solo, que tem retirada da cobertura vegetal e extração superficial de solo (LICKS *et al.*, 2008).

Stumpf (2015) realizou um estudo em áreas degradadas de mineração no Rio Grande do Sul, em local com solos construídos para recuperação da área e testou quatro espécies de gramíneas com relação a formação e crescimento radicular das plantas nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m do solo e observou que as plantas de *P. notatum* tiveram uma produção do que? superior às demais gramíneas.

A boa formação e desenvolvimento de raízes de *P. notatum* é um bom indicador de seu potencial na recuperação de áreas degradadas (STUMPF, 2015) por ser capaz de promover alterações dos atributos físicos e biológicos do solo, pela liberação de exsudatos, contribuindo para a formação de micro e macroagregados e o estímulo da microbiota do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Essa espécie de gramínea se associa com microrganismos, como fungos micorrízicos arbusculares (MENDONÇA *et al.*, 2016) além de ter associação com a bactéria diazotrófica *Azospirillum brasilense*, como ocorre na maioria das gramíneas (BALDANI *et al.*, 1945; DÔBEREINER, 1966). Essa associação com microrganismos pode incrementar ainda mais o desenvolvimento da planta, por disponibilizar nutrientes e água, resultando em plantas mais resistentes para seu pleno estabelecimento nesses novos ambientes construídos. (HUNGRIA, 2011).

2.1.5 Uso de microrganismos em solos construídos em áreas de recuperação

O uso de microrganismos em solos construídos combinado com algumas espécies de plantas, pode contribuir na recuperação de áreas degradadas, como demonstrado por Gervazio *et al.* (2015), além de ser considerado um parâmetro indicador de recuperação de áreas degradadas através de sua quantidade e diversidade encontrados ao longo dos monitoramentos (SILVEIRA; MELLONI; PEREIRA, 2004). Apesar de alguns microrganismos se mostrarem prejudiciais às plantas, como os patogênicos, muitos são benéficos, promovendo a manutenção

e sobrevivência da vida vegetal, com efeitos no crescimento e no desenvolvimento das plantas (VRIEZE, 2015; GEORGE; DOU; WANG, 2016).

Os microrganismos têm grande diversidade morfológica, bioquímica e fisiológica, diferenciando suas atividades e funções, o que facilita sua adaptação aos mais diversos ambientes, incluindo ambientes em condições extremas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; CONTI *et al.*, 2012).

O teor de nutrientes como carbono e nitrogênio pode ser baixo nos primeiros estágios de formação do solo e em solos construídos, e isso pode dificultar o estabelecimento de plantas, como as gramíneas, usadas na reabilitação de áreas degradadas (COSTA; ZOCHE, 2009). A atividade microbiana nesses solos é um fator limitante, pois são responsáveis por várias funções vitais para solo, tais como: ciclagem de nutrientes, fixação de nitrogênio atmosférico, formação de agregados do solo e controle de pragas e doenças através da decomposição de material orgânico realizada a partir de sua atividade enzimática (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; QUADROS, 2013).

Entre os microrganismos que mostram potencial e contribuem para o melhor desenvolvimento do meio em ambientes degradados estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e as bactérias diazotróficas. Esses microrganismos são encontrados em muitos ambientes, e isolados e/ou combinados, eles geralmente favorecem o estabelecimento da vegetação e, portanto, o início da reabilitação de áreas degradadas (SOARES; CARNEIRO, 2010; FERREIRA *et al.*, 2016) as bactérias na rizosfera podem interferir ou beneficiar o estabelecimento de simbioses micorrízicas (GRYNDLER, 2000) e deve-se observar a sinergia ou a competição entre os microrganismos quando combinados. Bagyaraj *et al.* (2015), encontraram interação benéfica entre FMA e bactérias das espécies *Agrobacterium* sp. e *Pseudomonas* sp. e observaram aumento da matéria seca e o teor de fósforo em gramíneas quando coinoculadas com os microrganismos. Outro estudo conduzido por Mohamed *et al.* (2014) com FMA e tiobacilos (bactérias solubilizadoras de enxofre) obtiveram resultados satisfatórios nos parâmetros de crescimento de plantas, inclusive no aumento da colonização das bactérias quando coinoculadas com os fungos micorrízicos. Em trabalho realizado por Behl *et al.* (2003) foram observadas maiores taxas de colonização de *Azospirillum* spp. quando inoculado em conjunto com *Glomus* em plantas de trigo, resultado semelhante encontrado por Bellone & Silvia (2012) em plantas de cana-de-açúcar com a coinoculação de *Glomus intraradix* e *Azospirillum brasilense*.

Por outro lado, em estudo feito por Biró *et al.* (2000) a coinoculação de *Azospirillum* spp. e FMA, ocasionou competição por compostos fotossintetizados entre os microrganismos por estarem na mesma área das raízes, resultando em menor colonização de FMAs nas raízes. Estudos entre sinergia e competição entre esses microrganismos são escassos na literatura, porém estão em crescente estudo e atenção sendo de grande importância o teste e experimentação, assim como tecnologias mais adequadas para verificação da coinoculação não somente pela resposta indireta por biomassa de planta produzido, mas também em outros parâmetros, como maior desenvolvimento na colonização no interior das raízes, assim como a saúde do solo com a adição desses microrganismos, resultando em maior disponibilidade de nutrientes para as plantas.

2.1.6 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Os FMA são simbioses obrigatórios, necessitam de um hospedeiro para realizar seu ciclo de vida e pertencem ao filo Glomeromycota (BORBA; DE-AMORIM, 2007; DE-SOUZA *et al.*, 2011; SALGADO *et al.*, 2017). Atualmente são descritas 237 espécies pelo International Culture Collection of (Vesicular -) Arbuscular Mycorrhizal Fungi INVAM (2020) e classificadas de acordo com as características morfológicas e paredes dos esporos produzidos (BORBA; DE-AMORIM, 2007). Esses fungos se adaptam nos mais diversos ambientes, como observados em diversos estudos (LIMA; SALCEDO; FRAGA, 2007; FERREIRA; CARNEIRO; SAGGIN JUNIOR, 2012; SILVA *et al.*, 2019) e se associam às raízes de plantas de 80% das famílias vegetais (INVAM, 2020).

A colonização das plantas por esses microrganismos ocorre nas células do córtex por meio de interações moleculares, morfológicas e funcionais (DE-SOUZA *et al.*, 2011). Suas hifas penetram na célula cortical da planta hospedeira, localizadas mais internamente, transformando-se em arbúsculos e vesículas e para a sua reprodução esses fungos liberam esporos (NAIR; SAFIR; SIQUEIRA, 1991; HARRISON, 2005).

As hifas não possuem septos e são estimuladas por fatores abióticos e por sinais catalizadores das raízes das plantas, ocorrendo a infecção a partir da formação de um apressório (NAIR *et al.*, 1991; HARRISON, 2005). As hifas percorrem os espaços intercelulares até entrarem nas células do córtex, onde ocorre a formação dos arbúsculos. Externamente, as hifas se ramificam ao longo da raiz criando mais pontos de colonização, além de um extenso micélio

em sua volta e com isso a planta tem sua área de absorção aumentada (CARDOSO; NOGUEIRA, 2009).

Os arbúsculos são sítios-chaves na formação da interface simbiótica e troca de nutrientes. Os compostos são captados pelas hifas a partir da formação de um gradiente eletroquímico de transporte de fosfatos e açúcares (LAMBAIS, 2006; RAMOS; MARTINS, 2010). Além disso, os arbúsculos têm papel importante no reconhecimento e identificação da simbiose em laboratório (COLODETE *et al.*, 2014), seu ciclo varia de 4 a 14 dias (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

As vesículas são consideradas reservas energéticas do fungo e variam em seu formato de elípticas e oblongas (INVAM, 2020). Essas estruturas têm ciclo curto, podendo durar alguns dias e estão diretamente ligadas à situação nutricional e ambiental das plantas (SMITH & READ, 1997).

Poaceae são especialmente beneficiadas e atuam como boas simbiontes com estes microrganismos, pela alta taxa fotossintética e conversão de fotoassimilados (SILVA *et al.*, 2006), além de seu sistema radicular fasciculado e abundante. Essas plantas são exigentes em fósforo, que é disponibilizado pelos FMA. Esse nutriente tem papel importante no desenvolvimento do sistema radicular (SANTOS *et al.*, 2001). Além disso, essa família pode ser utilizada em áreas de reabilitação, principalmente na fase inicial de sucessão ecológica conhecida como ecese, durante a qual se tornam pioneiras, em conjunto com os FMA, em um ambiente que não está completamente desenvolvido (SOUZA; DE MORAES; RIBEIRO, 2004; ROCHA-NICOLEITE *et al.*, 2013).

Esse benefício é resultado da compatibilidade da planta com os FMA, o que faz com que estes organismos consigam realizar a troca de nutrientes de forma que os dois simbiontes se beneficiem (CARRENHO *et al.*, 2010, DE SOUZA *et al.*, 2011). Assim, promove-se a resistência aos mais diversos estresses, como déficit hídrico (SOUSA *et al.*, 2015), pH baixo e desagregação, além de tolerância a níveis elevados de metais pesados (SOUZA *et al.*, 2011).

Algumas espécies de fungos micorrízicos arbusculares ganham destaque por seu bom desenvolvimento em locais de estresse abióticos. O *Rhizophagus intraradices* (*Glomus intraradices*) é um exemplo. Essa espécie foi encontrada em regiões de mineração de gesso (MERGULHÃO *et al.*, 2014) e utilizada em plantas sob condição de seca (LI *et al.*, 2014). Além disso, essa espécie proporcionou inibição de microrganismos patogênicos em plantas (LAX *et al.*, 2010; MARRO *et al.*, 2014).

A espécie *Rhizophagus intraradices* tem esporos de coloração variável, de creme pálido ao marrom amarelado, dependendo do tipo de solo e idade do esporo. Seu formato pode ser globoso e subgloboso, possuindo três camadas (L1, L2 e L3) em suas paredes, e com tamanho variando de 40-140 μm (INVAM, 2020).

Essa espécie vem sendo usada para a fabricação de inoculantes, pelas suas características de colonização e esporulação, garantido um bom número de propágulos ativos. Foi constatado aumento de massa seca em plantas de soja (STOFFEL, 2020a) e milho (STOFFEL, 2020b), além de resultados satisfatórios na cultura *Stevia rebaudiana* Bertoni em conjunto com inoculantes de *Bacillus spp.* e *Azospirillum brasilense* (CAUICH *et al.*, 2018). Isso demonstra respostas positivas à interação de fungos micorrízicos com outros microrganismos do solo, como bactérias diazotróficas, visto que há maior colonização e incremento no desenvolvimento da planta, quando *Azospirillum* estava presente (MIYAUCHI *et al.*, 2008; REIS *et al.*, 2010).

2.1.7 Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal e *Azospirillum brasilense*

A interação entre bactérias e fungos micorrízicos arbusculares ocorre na rizosfera, onde se encontram altas concentrações de nutrientes e compostos liberados pelas raízes das plantas. Os fungos micorrízicos podem contribuir com a melhor aquisição de fósforo pelas plantas, proporcionando melhores condições energéticas para o estabelecimento da associação com a bactéria diazotróficas (ARTURSSON *et al.*, 2006). Apesar dessas interações serem poucos estudadas, alguns trabalhos mostram que há interações benéficas, apresentando sinergia entre os microrganismos (BALOTA *et al.*, 1995; PAULA *et al.*, 1992; SALA; FREITAS; SILVEIRA, 2007; PEREIRA *et al.*, 2013), mas também interações prejudiciais, nas quais há a competição desses microrganismos por nutrientes, como observado por Gomes-Soares *et al.* (2009) pela diminuição de colonização do fungo *Gigaspora albida* e de crescimento de mudas de abacaxi na presença das bactérias *Bacillus cereus* e *B. thurgiensis*. Franzini *et al.* (2010) que constataram a inibição de nodulação de *Rhizobium* com a inclusão de *Glomus sp.* em leguminosas em situação de seca.

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) são microrganismos que podem colonizar tecidos vegetais e estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas por diversos mecanismos (DOBBELAERE *et al.*, 2003). Esses microrganismos diazotróficos interagem com outros microrganismos, havendo respostas positivas (COSTA; MELLONI,

2019) e negativas (OLIVEIRA *et al.*, 2010), o que mostra a necessidade de mais estudos sobre o tema. Um gênero que tem destaque é *Azospirillum*, que foi e continua sendo usado como alternativa aos fertilizantes nitrogenados utilizados em larga escala na agricultura (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; CANTARELLA, 2007; HUNGRIA, 2011).

Azospirillum é uma bactéria heterotrófica de vida livre no solo que coloniza a zona de alongação de raízes e os pelos radiculares e pode ser encontrada no interior das plantas. Por isso pode ser considerada endofítica facultativa (VOGEL; MARTINKOSKI; RUZICKI, 2014). Diferentemente dos rizóbios, essas bactérias não induzem a produção de estruturas anatômicas diferenciadas, como os nódulos. Há muitos anos, os pesquisadores estudam formas de viabilizar seu uso e atualmente há inoculantes de forma sólida, com base em turfa ou líquida, sendo cada vez mais comum sua aplicação via semente (SIVASAKTHIVELAN; SARANRAJ, 2013).

Esses microrganismos têm capacidade de fixar nitrogênio em gramíneas chegando a proporcionar a redução em até 50% de fertilizante nitrogenado sintético (CHIBEBA *et al.*, 2015; MATOS *et al.*, 2017). Outros benefícios incluem a produção de hormônios vegetais que atuam no crescimento e desenvolvimento de plantas, por meio de estímulos no sistema radicular pela produção de AIA (auxina - ácido indolilacético) e giberilina e por isso essas bactérias são consideradas promotoras de crescimento de plantas (SOUZA-MOREIRA *et al.*, 2010; MUMBACH *et al.*, 2017). Já se observou incremento de produção de AIA em pastagem inoculada com isolados de *Azospirillum amazonenses* (REIS-JUNIOR *et al.*, 2004) e em outro estudo observou-se o aumento de 3,8 vezes na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz inoculadas com *Azospirillum brasilense* (RADWAN; MOHAMED; REIS, 2004).

Apesar de a inoculação da bactéria *A. brasilense* não suprir totalmente a demanda por nitrogênio, estudos mostram a presença dessas bactérias na rizosfera da grama batatais (*Paspalum notatum* Flug.) e isso pode ser importante para o estabelecimento de gramíneas em áreas degradadas (HUNGRIA, 2011). Por exemplo, plantas de *Brachiaria decumbens* inoculadas tiveram altos rendimentos de matéria seca da parte aérea (GUIMARÃES *et al.*, 2011). Leite *et al.* (2019) observaram maior perfilhamento, altura e massa seca de raízes de *U. brizantha* inoculadas com espécies Ab-V5 e Ab-V6. Trabalhos como os de Portugal *et al.* (2013) e de Nakao *et al.* (2014), demonstraram ganhos significativos com uso de inoculante de *Azospirillum brasilense* via foliar em culturas de milho e sorgo. Esses efeitos foram observados também em feijão (FILIPINI *et al.*, 2020). A produtividade em milho teve aumento (CUNHA

et al., 2014), além de haver promoção de resistência a doença em plantas de trigo quando utilizado o inoculante na parte aérea da planta (SILVA *et al.*, 2004).

Essa bactéria aumenta a tolerância de plantas, principalmente Poaceae, em áreas degradadas, pois ocorrem modificações nas raízes, como aumento de pelos e do comprimento, por causa da indução da produção de auxinas, o que leva a maior absorção de água e nutrientes (ZAIED *et al.*, 2003). Estudo de riqueza e diversidade de bactérias diazotróficas em áreas de degradação por mineração de bauxita relatou a presença de *Azospirillum* em áreas de maior estresse, reforçando a hipótese de que o estresse do ambiente favorece a associação desses microrganismos com a planta (MELLONI *et al.*, 2004; VOGEL, 2014).

3. HIPÓTESES

O tipo de fertilizante utilizado afeta o crescimento de plantas de *Paspalum notatum* e a resposta a inoculantes de *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*.

A inoculação de microrganismos isolados ou combinados promove aumento de biomassa de *Paspalum notatum*.

A inoculação via foliar ou semente de *Azospirillum brasilense* aumenta a colonização micorrízica em raízes de *Paspalum notatum*.

O uso de fertilizantes, assim como o uso de inoculantes contendo microrganismos isolados ou combinados afeta a absorção de nutrientes por *Paspalum notatum* em solos de empréstimo utilizados na reabilitação de áreas degradadas por mineração de carvão.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito de inoculantes de fungo micorrízico arbuscular (*Rizophagus intraradices*) e de bactéria diazotrófica (*Azospirillum brasilense*) em *Paspalum notatum* em solo de empréstimo para a reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão submetido à aplicação de duas fontes de adubação.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os efeitos de fertilizantes orgânico ou mineral sobre o crescimento e absorção de nutrientes por *Paspalum notatum* e sobre características químicas e físicas de solo de empréstimo.
- Avaliar o efeito do tipo de fertilizante através da porcentagem de colonização
- Avaliar a o efeito da aplicação de *Azospirillum brasilense*, por via foliar e nas sementes, na colonização micorrízica de raízes de *P. notatum*.
- Avaliar o crescimento vegetal e a absorção de N e P em *Paspalum notatum* *coinoculadas* com microrganismos promotores de crescimento vegetal e FMAs em solo proveniente de área em processo de recuperação sem e com adição de cama de aviário.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SOLO COLETADO

A coleta de solo (Antropossolo) e cama de aviário foi realizada em área na localidade do Rio Pio no município de Treviso (28°33'30.0''S e 49°28'01''W, altitude de 145 metros acima do mar), pertencente a Bacia Carbonífera do Sul de Santa Catarina (Figura 1).

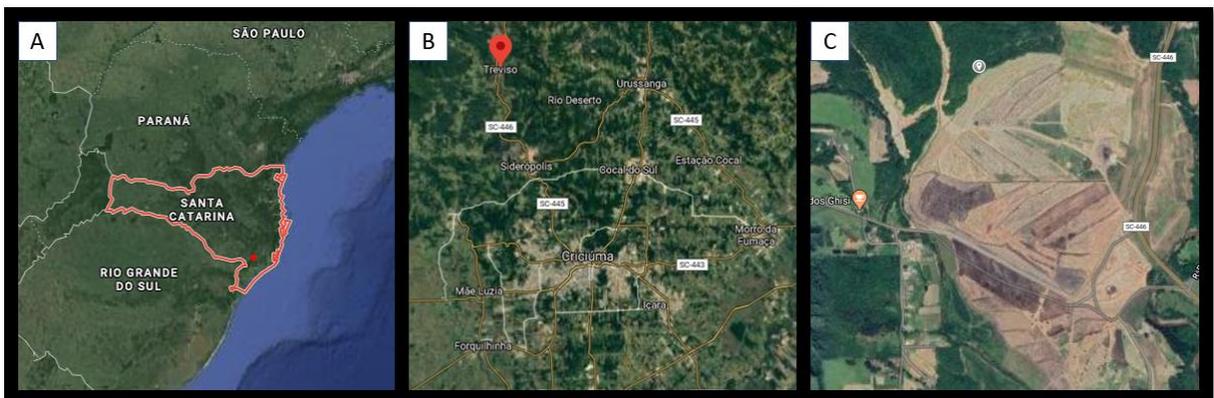


Figura 1. Estado de Santa Catarina com indicação da região da Bacia Carbonífera (A), Bacia Carbonífera do Sul de Santa Catarina com indicação do Município de Treviso (B) e Localidade do Rio Pio, no município de Treviso (C).

Fonte: Google Earth (2021), adaptado.

A região é caracterizada pelo clima Cfa (classificação Köppen) com verão quente e temperatura média de 19,3°C (SEBRAE/SC, 2010). Esta área pertenceu à empresa Carbonífera Treviso S.A.®, de onde se extraiu carvão a céu aberto por um longo tempo e atualmente é uma área em processo de reabilitação (MENEHINI; BACK; CUNHA, 2011). O solo da área é composto por uma camada de 50 cm de solo de área de empréstimo sobre os rejeitos, ajustado pH para 6,0 com adição de calcário além da adição de compostos melhoradores de condições físicas e químicas como cama de aviário e turfa. Para o presente estudo utilizou-se o solo de empréstimo para o cobrimento dos rejeitos e a cama de aviário do local em ambiente controlado. O solo apresentou as seguintes características: pH em água 4,5, matéria orgânica 1,0 g kg⁻¹, acidez potencial (pH em solução SMP) 4,2; P 3,0 mg dm⁻³; K 81,4 mg dm⁻³; Al 6,4 cmol_c dm⁻³.

5.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O ensaio foi conduzido durante 100 dias, em casa de vegetação da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis – SC, aplicando-se duas fontes de adubação distintas (adubação química e cama de aviário) em solo de empréstimo e cultivado com a gramínea *Paspalum notatum* em vasos de 5l.

O delineamento do experimento utilizado foi em blocos inteiramente casualizados em esquema bifatorial (sem ou com inoculação micorrízica (inoculante de fungos micorrízicos *Rhizophagus intraradices* Rootella BR™), sem ou com inoculação de *Azospirillum* (inoculante de *Azospirillum brasilense* Nitro1000) nas sementes e sem ou com aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* (aos 30 dias após a semeadura (Figura 2)). Cada tratamento teve com oito repetições e rotacionados a cada dez dias.

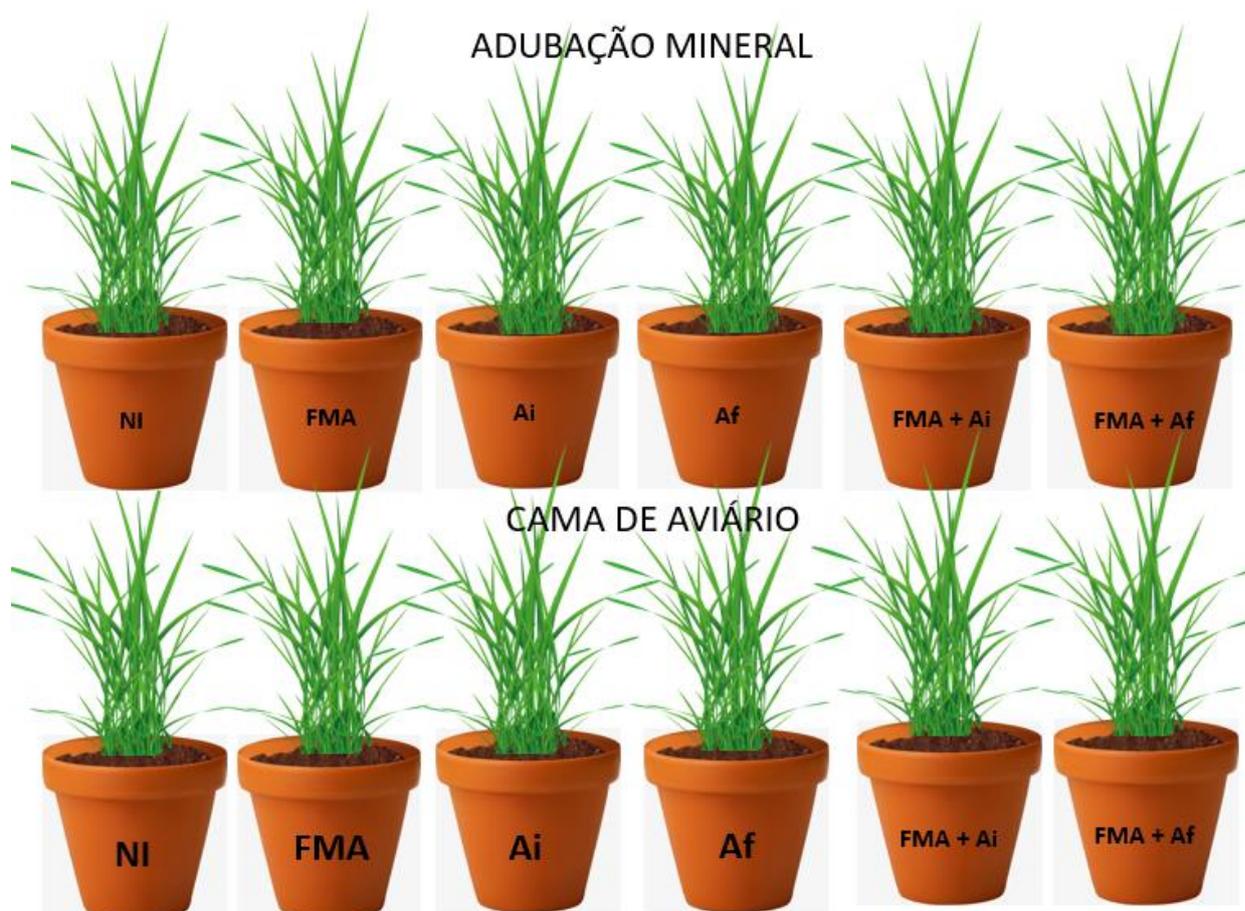


Figura 2. Esquema dos tratamentos utilizados no experimento. Legenda: FMA – Aplicação de inoculante de Fungo Micorrízico Arbuscular; Ai – Aplicação de inoculante de *Azospirillum brasilense* via semente na implantação do ensaio Af – Aplicação de *Azospirillum brasilense* via foliar aos 32 dias por meio de pulverização; NI – Testemunha, sem presença de inoculantes.

Fonte: da autora (2021).

5.3 PREPARAÇÃO DE SOLO E SEMENTES

O solo do ensaio foi homogeneizado e peneirado com a adição de proporcional de 0,33 g de calcário dolomítico por vaso, conforme recomendado para a correção do pH para 5,5 (CQFS, 2016). No tratamento com cama de aviário (CA), o solo recebeu 40 g por vaso (equivalente a 32 t por ha) de composto orgânico (cama de aviário) retirado da área de restauração e no outro foi realizada uma adubação mineral (NPK). Foram colocados 0,120 g por vaso de N (50% em semente e 50% após 45 dias) representando 50% do recomendado, 0,0154 g por vaso de superfosfato triplo (43% de P_2O_5), correspondendo a 30% da

recomendação, e 0,033 g por vaso de cloreto de potássio, conforme recomendação do Manual de Adubação e Calagem para os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (CQFS, 2016). Foram aplicados somente 30% da recomendação de fósforo, para não inibir a simbiose com os fungos micorrízicos arbusculares (SIQUEIRA *et al.*, 1985; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; STOFFEL, 2019).

As sementes (1,5 g por vaso) passaram por desinfecção com álcool 70% por 30 segundos e hipoclorito de sódio por dois minutos e em seguida foram enxaguadas em água destilada. Para a inoculação foram utilizados 0,15 g de inoculante sólido de fungos micorrízicos *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR™) (20.800 propágulos/g) por vaso nos tratamentos em que o FMA estava presente, as sementes dos tratamentos com a presença da bactéria (*Azospirillum brasilense*) resultando em 0,015 g por vaso de inoculante turfoso de *Azospirillum brasilense* (Nitro1000), seguindo prescrição de cada fabricante. Nos tratamentos com fator aplicação de inoculante líquido ($2,0 \times 10^8$ células viáveis por ml) via parte aérea, foram pulverizados 0,03 L por vaso.

Após a estabelecimento das plântulas no 22º dia, foi realizado desbaste, deixando-se dez plantas por vaso. Ao longo do desenvolvimento, as plantas foram regadas regularmente, recebendo em torno de 100 mL de água a cada dois dias e aos 60 dias após emergência receberam solução Fe-EDTA e micronutrientes (HOAGLAND; ARNON, 1950).

5.4 COLETA DE DADOS

Aos 35 dias, foi realizada a medição de altura das plantas. Aos 100 dias foi realizada a coleta do material da parte aérea e da raiz para quantificação da biomassa e análise de P e N da parte aérea. Amostras de raiz (cerca de 1,0 g) foram coletadas para a quantificação de colonização total e visualização e porcentagem de arbúsculos e vesículas. Amostras de solo foram coletadas para contagem de esporos, assim como análise de características físicas e químicas.

5.5 AVALIAÇÃO DE PESO MASSA SECA DE PARTE AÉREA E RAIZ E ANÁLISE FOLIAR

As amostras de tecido vegetal de parte aérea e raiz foram secas em estufa a 60°C até massa constante, pesadas e moídas para análise química. Para determinação de P de parte aérea

foi realizado digestão sulfúrica segundo Tedesco *et al.* (1995), com posterior determinação por Colorimetria, segundo Murphy & Riley (1962). O valor final do P acumulado da parte aérea da planta foi calculado a partir da multiplicação do teor deste elemento na parte aérea pela respectiva massa seca produzida pela planta. Para a determinação de N foi utilizada a metodologia semi-micro Kjeldahl com três etapas: digestão, destilação e titulação, como descrito por Tedesco *et al.* (1995).

5.6 AVALIAÇÃO DE COLONIZAÇÃO E CONTAGEM DE ESPOROS DE FMA

Amostras de 25 cm³ de solo foram coletadas e armazenadas em geladeira (4°C) para posterior análise. Os esporos foram extraídos por peneiramento úmido (peneira de 0,45 mm) segundo Gerdemann e Nicolson (1963), seguido por centrifugação em água (três minutos a 3000 rpm) e em gradiente de sacarose 45% (2 minutos a 2000 rpm) (Jenkins, 1964). A contagem de esporos do material foi realizada em placas caneladas com auxílio de um estereomicroscópio.

Para estimar a colonização micorrízica, raízes finas das plantas foram coletadas, lavadas em água corrente e clareadas em KOH 10% a 80° C por cerca de 60 min, acidificadas em HCl 5% e coradas com azul de tripano 0,05%, conforme Koske e Gemma. (1989). A quantificação foi feita pelo método de intersecções em lâminas (MCGONIGLE *et al.*, 1990), em 100 fragmentos de 1,0 cm de raízes coradas sobre lâminas de microscopia em glicerina, e observação na ampliação 200x, contando-se arbúsculos, vesículas e hifas.

Cálculos para colonização arbuscular (AC) e colonização vesicular (VC) foram feitos a partir das fórmulas $AC = 100(q+s/G)$ e $VC = 100(r+s/G)$, onde q: número de arbúsculos, s: número de arbúsculos e vesículas, r: número de vesículas e G: número de campos examinados.

5.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à transformação de $\sqrt{(X + 0,5)}$ para atender aos pressupostos da análise de homogeneidade de variâncias (Bartlett). Após, os dados dos tratamentos de inoculação dentro de cada tipo de adubação foram submetidos a análise de variância (ANOVA) bifatorial para verificar a interação entre tratamentos de inoculação com o tipo de adubação. Quando se verificou efeito significativo ($p \leq 0,05$), os dados foram submetidos ao teste de separação de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Para a análise estatística utilizou-se o software

estatístico Sisvar (Versão 5.7 (Build 91) DEX/UFLA) e para os gráficos o SigmaPlot, versão 12.5 (Systat Corp., San Jose, USA).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Após 120 dias de aplicação de diferentes fontes de adubação verificou-se aumento de todos os atributos químicos do solo, exceto o alumínio trocável. O solo com adição de cama de aviário apresentou maiores teores de matéria orgânica e de P que o solo que recebeu NPK em formas minerais (Tabela 1).

Em solos deficientes ou pobres em nutrientes, os diferentes tipos de fertilizante podem contribuir no desempenho das plantas utilizadas. Os resultados mostraram maior porcentagem de matéria orgânica e fósforo (mg/dm^3) nos tratamentos utilizando cama de aviário (Tabela 1). Por seu efeito nas características físicas e químicas, adubos orgânicos são aplicados em áreas degradadas como técnica de recuperação quando o solo possui menores indicadores nutricionais (SANTOS; CAMARGO, 1999; SAHRAWAT, 2016). Assim, a aplicação da cama de aviário traz benefícios para o estabelecimento inicial das plantas, Santos et al., 2014 observou o aumento de massa seca de aveia quando houve a substituição da adubação nitrogenada mineral em sucessão de aveia e milho. A introdução de composto orgânico no solo de empréstimo pode alterar atributos físicos do solo, como a formação de micro agregados e aumento da macroporosidade, melhorando a aeração e o armazenamento de água (VALADÃO *et al.*, 2011; HANCKE, 2018). O composto também pode promover disponibilização temporária de nutrientes e eliminação de patógenos presentes na cama ou no esterco quando curado adequadamente, pois possuem microrganismos aeróbios (HAHN, 2004; SAMPAIO *et al.*, 2007; KAMIMURA, 2018; BOTEGA, 2019). Entretanto, o uso indiscriminado desse composto pode trazer desbalanços nutricionais ou mesmo toxidez para os microrganismos inoculados para o beneficiamento de plantas, caso seus níveis de elementos como N, P, K e Cu estiverem em valores acima do recomendado e por seu alto teor de K e P, seu excesso pode ser lixiviado contaminando o lençol freático (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; ROSOLEM *et al.*, 2006; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO, 1998)

Em contraste, o solo com adubação mineral mostrou maiores teores de K ao final do experimento (Tabela 1). O uso de adubo mineral tem vantagens, como menor quantidade

utilizada de aplicação, além de possuir quantidades definidas que facilitam a utilização conforme a recomendação técnica (COMISSÃO, 2016). Esse tipo de adubo é, no entanto, carente de matéria orgânica, o que pode dificultar a formação de microagregados no solo, prejudicando a atividade microbiológica do solo (VALENTINI *et al.*, 2016).

Os demais atributos químicos (pH, índice SMP e teores de Al, Ca e Mg e CTC) apresentaram teores semelhantes com os dois tipos de adubo ao final dos 120 dias de experimentos, sendo maiores que os teores apresentados no início do trabalho (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos no solo original e no final do experimento, de solo adubado com cama de aviário (C.A. Final) ou adubação mineral (NPK Final).

| | Argila | pH | SMP | M.O. | P | K | Al | Ca | Mg | CTC |
|-----------------|--------|----------|-----|------|--------------------|-----|------------------------------------|-----|-----|-------|
| | % m/v | Água 1:1 | | % | mg/dm ³ | | cmol _c /dm ³ | | | pH 7 |
| Solo (Original) | 21 | 4,5 | 4,2 | 0,1 | 3 | 81 | 6,4 | 1,6 | 2,2 | 37,31 |
| C.A. (Final) | 21 | 5,9 | 6,6 | 0,5 | 17,7 | 80 | 0 | 6,8 | 5,6 | 14,91 |
| NPK (Final) | 24 | 6,1 | 6,9 | 0,2 | 7,8 | 112 | 0 | 7,2 | 5,5 | 14,59 |

Fonte: da autora (2021).

6.2 CRESCIMENTO DE *P. notatum*

Os valores de altura das plantas aos 35 dias após o plantio foram 47% maiores no solo com cama de aviário (CA) que nos tratamentos com NPK. Essa diferença pode ter ocorrido pela maior disponibilização de nutrientes para a planta pelo adubo orgânico, como se constata na análise de solo ao final do experimento, na qual o tratamento CA apresentou 150% a mais de matéria orgânica, enquanto o fósforo foi 127% maior quando comparados ao solo com NPK (Tabela 2). Silva *et al.* (2012) sugerem que dejetos de animais com uma boa concentração de nutrientes disponibilizam estes de forma mais eficaz que adubos químicos, principalmente nitrogênio. Isso pode explicar o grande aumento em altura nos primeiros 35 dias após o plantio, embora não tenham ocorrido diferenças entre os tratamentos de inoculações. O uso de inoculantes comerciais, isolados ou combinados com os tipos de adubo, pode trazer benefícios para o estabelecimento inicial de plantas em solos construídos, BAREA *et al.*, 2005 e BÁRBARO *et al.*, 2008 realizaram estudos sobre a cooperação entre microrganismos no solo e concluiu que maior diversidade de organismos contribuem para um efeito sinérgico, porém a resposta depende da combinação de fatores físicos e químicos que podem contribuir para a melhoria do solo e o crescimento das plantas.

Tabela 2. Altura (35 dias), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca da Raiz (MSR) (120 dias) de plantas de *Paspalum notatum* com a inoculação de FMA ou não e *Azospirillum brasilensis* nas sementes (Ai), pulverizada na parte aérea (Af) ou não inoculadas (NI), em solos com cama de aviário ou adubação mineral (NPK).

| Tratamento | Cama de aviário (CA) | | | Adubação Mineral (NPK) | | |
|------------|---------------------------|----------|---------|---------------------------|----------|---------|
| | Altura (aos 35 dias) (cm) | MSPA (g) | MSR (g) | Altura (aos 35 dias) (cm) | MSPA (g) | MSR (g) |
| NI | 22,53a* | 4,55a | 4,98a | 14,12a | 4,71a | 3,85a |
| FMA | 21,62a* | 3,88a | 4,10b | 14,95a | 5,20a* | 4,53a |
| Ai | 21,63a* | 4,06a | 3,67b | 13,81a | 4,80a | 3,40a |
| Af | 21,01a* | 4,30a | 3,95b | 14,76a | 4,55a | 4,04a |
| FMA+Ai | 19,60a* | 3,53a | 3,55b | 14,32a | 5,04a* | 4,05a |
| FMA+Af | 22,13a* | 4,50a | 4,22b | 15,21a | 4,32a | 3,66a |
| Média | 21,33 | 4,13 | 4,07 | 14,52 | 4,77 | 3,92 |
| CV% | 11,88 | 8,95 | 8,17 | 11,88 | 8,95 | 8,17 |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si; asteriscos indicam diferenças entre adubações para Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: da autora (2021).

A dose aplicada no tratamento CA, equivalente a 32 t ha^{-1} , pode ter inibido a troca de nutrientes entre microrganismos e plantas. Trindade *et al.* (2000), testaram doses de cama de aviário em mudas de mamoeiro e observaram que os fungos micorrízicos colonizaram a planta até a dose de 20% de esterco. Todavia a adição de maiores quantidades de dejetos afetou negativamente colonização. Adicionalmente, a inoculação de *Glomus etunicatum* no crescimento vegetal foi verificado somente até a adição de 10% de cama de aviário no solo.

No tratamento NPK, as plantas não aumentaram o crescimento com a inclusão dos microrganismos, isolados ou combinados. Apesar de o gênero *Paspalum* se associar com fungos micorrízicos e bactérias como *A. brasilense* (DOBEREINER; BALDANI; BALDANI, 1995) e ser utilizado como multiplicador de FMA, pela alta taxa de colonização de suas raízes (SANTOS, 2018) a quantidade de nitrogênio (50% do recomendado) parece ter sido suficiente para a manutenção e desenvolvimento das plantas pois não há estudo que comprovem maior ou menor colonização pelo fungo micorrízicos pela maior ou menor quantidade de nitrogênio. Mumbach *et al.* (2017), obtiveram resultados semelhantes com trigo e milho safrinha, nos quais diferentes doses de nitrogênio combinadas com a inoculação de microrganismos não tiveram efeitos significativos sobre o rendimento das plantas. Além disso, deve se considerar que nesse curto espaço de tempo de 35 dias, a colonização de FMA não estaria completamente estabelecida e funcional. Berbara *et al.* (1999) encontraram respostas significativas em

quiabeiros somente após 32 dias da inoculação de FMA. Em outro trabalho com o estabelecimento de *Azospirillum brasilense*, houve aumento significativo nas raízes somente a partir do décimo dia após a inoculação (FALEIRO, 2014).

A ausência de diferença entre os tratamentos de inoculação pode estar relacionada com um fator ainda pouco investigado na literatura, a possibilidade de ocorrer competição nesse tipo de combinação entre microrganismos, o que demonstra a importância do tema. O trabalho de Berg (2009) avaliou interações de microrganismos usados como mecanismos promotores de crescimento encontrando antagonismo entre alguns tipos de microrganismos quando combinados. Outro trabalho realizado por Tsimilli-Michael *et al.* (2000) estudou a sinergia e o antagonismo de bactérias diazotróficas (*Azospirillum* e *Rhizobium*) coinoculadas com FMA (*Glomus fasciculatum* M107) em alfafa neste estudo foram encontraram evidências que *Azospirillum* causa uma pequena diminuição na atividade de transporte de elétrons quando inoculada juntamente com o FMA, embora isso não tenha suprimido totalmente os benefícios que o microrganismo traz à planta.

Aos 120 dias no solo com NPK os tratamentos com inoculante de fungos micorrízicos (FMA e FMA+Ai) apresentaram valores 37% e 43% maiores de MSPA, respectivamente, que os mesmos tratamentos no solo com CA (Tabela 2). Este resultado também pode ter sido causado pelo alto teor de fósforo contido na cama de aviário, que pode ter afetado a simbiose entre planta e fungo micorrízico. Em condições de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente fósforo, a colonização micorrízica pode ser um dreno de energia que resulta em menor crescimento vegetal (SMITH; READ, 2008).

O uso do adubo orgânico pode trazer prejuízos caso seja adicionado em grandes quantidades e deve se considerar sempre a sua composição química em conjunto com a necessidade das plantas (ABREU-JUNIOR *et al.*, 2012). Quando for utilizada adubação orgânica em combinação com microrganismos deve-se ter um cuidado especial, pois bactérias e fungos podem ter uma sensibilidade ao alto teor de nutrientes presentes no composto e isso pode afetar a simbiose. A alta disponibilidade de fósforo e nitrogênio nos solos com CA pode inibir os fungos micorrízicos arbusculares, como observado em plantas de amendoim no trabalho de Hippler e Moreira (2013).

A massa seca da raiz (MSR), avaliada ao final do experimento (120 dias) não diferiu entre os tipos adubação (Tabela 2). Essa variável foi maior no tratamento NI (Não inoculado) que nos demais tratamentos de inoculação dentro do tratamento CA, enquanto nos tratamentos com adubação NPK não houve diferença entre os tratamentos de inoculação. Há evidências que

presença de simbiontes radiculares, como os FMA, diminuem a relação entre massa de raiz e de parte aérea pelo aumento da eficiência do sistema radicular.

Mesmo com a presença de estruturas fúngicas no tratamento NI, pela presença de FMA no solo de empréstimo, a porcentagem de colonização micorrízica foi menor que nos tratamentos inoculados (Tabela 3). Isso pode ser resultado da alta disponibilidade de fósforo ($17,7 \text{ P mg dm}^{-3}$ no solo de CA), que inibiu a simbiose e levou a menor colonização radicular juntamente com o menor número de propágulos no solo de empréstimo, com isso a planta pode ter gerado mais raízes para a captura de nutrientes em todo o espaço do vaso (CRUSCIOL *et al.*, 2013). Apesar do menor número de propágulos e da menor porcentagem de colonização micorrízica as plantas emitiram maior massa de raízes. A maior emissão de raízes é benéfica, pois o comportamento do sistema radicular traz benefícios na construção de solos (SILVA *et al.*, 2014). Isso pode beneficiar o uso de solo de empréstimo e as plantas, visto que as raízes excretam vários compostos e evitam a compactação. Sua decomposição faz parte de vários ciclos de nutrientes (JACKSON, 2000; GIBBENS; LENZ, 2001; RUBENS *et al.*, 2007) e elas podem contribuir para o desenvolvimento de microrganismos na rizosfera e na criação de microambiente favorável para o crescimento e desenvolvimento das plantas (FERNANDES *et al.*, 2006). A formação de maior quantidade de raízes no tratamento NI no solo com cama de aviário parece ter compensado os efeitos de inoculação de microrganismos isolados e combinados, pois a altura aos 35 dias e a produção de massa seca da parte aérea foram iguais aos demais tratamentos.

6.3 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA E ESPORULAÇÃO DE FMA

A colonização micorrízica no presente trabalho é considerada de modo geral baixa mesmo com a introdução do inoculante. Porém as raízes de *P. notatum* apresentaram maiores taxas de colonização micorrízica quando utilizada a adubação com cama de aviário em conjunto com o inoculante de fungo micorrízico arbuscular (Tabela 3). O tratamento Ni teve 54% menos estruturas fúngicas que os demais tratamentos de inoculação, enquanto nos solos com adubo mineral os tratamentos de inoculação não apresentaram diferenças entre si. Entretanto, foram observados maiores valores de colonização no tratamento FMA nos solos com cama de aviário que no mesmo tratamento de inoculação utilizando o adubo mineral e, o tratamento sem inoculação (Ni) foi maior no tratamento de adubação mineral que no solo com cama de aviário.

Tabela 3. Porcentagem de colonização micorrízica, arbúsculos (Arb), vesículas (Ves) e número de esporos por 50 cm³ solo de raízes de plantas de *Paspalum notatum*, com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e *Azospirillum brasilensis* nas sementes (Ai), pulverizada na parte aérea (Af) ou não inoculadas (NI) em solos com cama de aviário (CA) ou adubação mineral (NPK).

| Tratamento | Cama de aviário (CA) | | | | Adubação Mineral (NPK) | | | |
|------------|----------------------|--------|-------|---------|------------------------|--------|--------|---------|
| | Colonização | Arb. | Ves. | Esporos | Colonização | Arb. | Ves. | Esporos |
| | % | n° | % | n° | % | n° | % | n° |
| NI | 9,88b | 6,38b | 3,23a | 63a | 20,08a* | 12,49a | 9,35a | 106a |
| FMA | 24,41a* | 18,96a | 6,29a | 112a | 12,10a | 6,80a | 4,38a | 125a |
| Ai | 22,31a | 13,19b | 9,03a | 119a | 26,65a | 14,08a | 10,01a | 213a |
| Af | 17,19a | 11,70b | 4,84a | 103a | 19,47a | 13,04a | 7,65a | 134a |
| FMA+Ai | 27,23a | 20,55a | 9,71a | 151a | 22,31a | 15,16a | 8,11a | 149a |
| FMA+Af | 16,28a | 11,13b | 4,66a | 97a | 24,40a | 17,31a | 13,89a | 77a |
| Média | 19,55 | 13,66 | 6,3 | 109 | 20,83 | 13,15 | 8,9 | 134 |
| CV% | 30,05 | 33,14 | 41,74 | 34,44 | 30,05 | 33,14 | 41,74 | 30,05 |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si; asteriscos indicam diferenças entre adubações para Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: da autora (2021).

Brundrett *et al.* (1996) afirmam que fatores como característica de solo, espécies fúngicas e vegetais afetam a colonização por certas espécies de fungos micorrízicos que podem ser prejudicados ou beneficiados pela presença de outros microrganismos. A inoculação de FMA a partir de produto comercial mostra que esses fungos são efetivos nas condições com cama de aviário, quando comparado com os FMA autóctones presente no solo de empréstimo. Essa resposta pode ser causada por adaptação dos fungos dos inoculantes comerciais ao teor de P presente no solo do tratamento CA. Em alguns casos, a colonização por espécies de FMA é inibida por altos teores de fósforo inorgânico no solo, evitando que os sinalizadores sejam estimulados pela planta para que ocorra a simbiose entre planta e fungo (KIRIACHEK *et al.*, 2009). Outras possíveis causas desse comportamento são o número de esporos viáveis presentes no solo de empréstimo ou a alta quantidade de raízes emitidas pelo tratamento Ni na cama de aviário, como indicado pela massa seca da raiz (Tabela 1), do que decorre uma diluição na quantidade de estruturas fúngicas encontradas na raiz da planta.

A porcentagem de arbúsculos no solo com cama de aviário, foi maior nos tratamentos FMA e FMA+Ai, enquanto não houve diferenças nos tratamentos com adubação mineral, nem entre os dois tipos de adubação (Tabela 3). O ambiente proporcionado pelo adubo orgânico pode ter contribuído de forma positiva para o estabelecimento das estruturas de troca de

nutrientes entre planta e fungo, quando se usou o inoculante comercial de FMA, isolado ou em conjunto com o inoculante comercial de *A. brasiliense*. Os arbúsculos são estruturas com um ciclo de vida curto, ou seja, ao longo do tempo há uma alta variação em sua quantidade (BONFANTE; PEROTTO, 1995; BERBARA *et al.*, 2006; SMITH; READ, 2008; VALADARES *et al.*, 2016).

A frequência das vesículas não diferiu entre os tratamentos de inoculação ou tipo de adubação (Tabela 3). Essas estruturas, como os arbúsculos, possuem variação temporal em sua quantidade, dependendo, portanto, do momento da coleta das amostras. As vesículas, formadas após o surgimento dos arbúsculos, são responsáveis pelo armazenamento de lipídios pelo fungo e podem ser utilizadas principalmente na fase de senescência ou estresse da planta, dificultando uma avaliação precisa de sua quantidade (JUNIOR; SILVA, 2006; DE-SOUZA *et al.*, 2008).

O número de esporos não apresentou diferença entre os tratamentos e nem entre tipos de fertilizante (Tabela 3). A presença de fungos micorrízicos nos mais diversos tipos e estados de conservação de solos é comprovado por diversos estudos. Melloni, Siqueira e Moreira (2003) encontraram propágulos de fungos em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação esses microrganismos contribuem para a sustentabilidade de solos deficientes em nutrientes (BERUDE *et al.*, 2015) ou até mesmo em degradação. Eles podem ser usados como indicadores de recuperação de áreas degradadas, como demonstrado por Carneiro *et al.* (2012) em áreas degradadas na região do nordeste. A presença de esporos no tratamento Ni pode contribuir de forma benéfica para a recuperação de áreas de mineração de carvão, por aumentar a diversidade de propágulos naquele ambiente, como visto em bibliografia realizado por BAREA *et al.*, 2005.

6.4 ABSORÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES

A absorção de nutrientes foi heterogênea entre os tratamentos de inoculação e tipos de adubação. No tratamento com cama de aviário, os teores mais altos de nitrogênio na planta ocorreram nos tratamentos Ai, Af e FMA+Af (Tabela 4). Esses resultados mostram que a bactéria diazotrófica pode trazer benefícios para a aquisição de nitrogênio, tanto via semente ou foliar, de forma isolada ou combinada, em solos com incorporação de cama de aviário. Nos solos com aplicação de fertilizante mineral (NPK), os tratamentos Ni e Af mostraram teores menores de N que os demais tratamentos, possivelmente porque o solo tinha menor disponibilidade de nutrientes, com possível desbalanço entre N, P e K (COMISSÃO, 2016), pela utilização de menor volume de N e P para beneficiamento dos microrganismos.

Tabela 4. Teor e acúmulo (acum) de nitrogênio e fósforo em *Paspalum notatum* inoculado com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e *Azospirillum brasilense* nas sementes (Ai), pulverizada na parte aérea (Af) ou não inoculadas (NI), em solos com cama de aviário ou adubação mineral.

| Tratamento | Cama de aviário (CA) | | | | Adubação Mineral (NPK) | | | |
|------------|----------------------|--------|-----------------------|---------|------------------------|--------|-----------------------|---------|
| | g kg ⁻¹ | | mg vaso ⁻¹ | | g kg ⁻¹ | | mg vaso ⁻¹ | |
| | N teor | P teor | N acum. | P acum. | N teor | P teor | N acum. | P acum. |
| NI | 5,61b | 0,84b* | 25,52a | 3,78a* | 4,92b | 0,51b | 23,06b | 2,43b |
| FMA | 5,06b | 1,06a* | 19,82b | 4,05a* | 6,11a | 0,47b | 31,61a* | 2,38b |
| Ai | 6,00a | 0,92b* | 24,61a | 3,71a | 6,52a | 0,72a | 30,49a* | 3,48a |
| Af | 6,48a* | 0,91b* | 28,11a | 3,89a* | 5,28b | 0,56b | 24,14b | 2,56b |
| FMA+Ai | 5,30b | 1,10a* | 18,42b | 3,90a* | 6,72a | 0,52b | 33,32a* | 2,65b |
| FMA+Af | 6,49a | 0,87b* | 28,97a | 3,89* | 6,19a | 0,53b | 26,79b | 2,28b |
| Média | 5,83 | 0,96 | 24,24 | 3,87 | 5,96 | 0,55 | 28,23 | 2,63 |
| CV% | 6,8 | 5,16 | 10,97 | 9,65 | 6,8 | 5,16 | 10,97 | 9,65 |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si; asteriscos indicam diferenças entre adubações para Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: da autora (2021).

Apesar de existirem estudos inconsistentes sobre os benefícios da aplicação foliar com *Azospirillum brasilense* (FERREIRA *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2018), a aplicação por meio de pulverização tem como objetivo facilitar a penetração por meio dos estômatos, atingindo xilema e raízes, aumentando sua colonização nas plantas (CADORE, 2014). Essa técnica de aplicação pode ser eficiente para o aumento no teor de N na parte aérea, como observado em milho com aplicação foliar de *A. brasilense* (PORTUGAL *et al.*, 2012) ou ainda por Filipini *et al.* (2021) em feijão. Entretanto, o maior teor de N observado no presente estudo não interferiu no crescimento das plantas, pois os nutrientes no solo já eram suficientes, resultando em consumo de luxo, que ocorre quando a planta consome mais nutrientes e não há diferenças no crescimento ou rendimento.

Na comparação dos efeitos dos tipos de fertilizante sobre o teor de fósforo (Tabela 4), a cama de aviário (CA) obteve médias 72% superiores à adubação mineral (NPK) em todos os tratamentos. Esse resultado pode estar relacionado com o alto fósforo da cama de aviário aplicada no solo ao final do experimento, pois o P no solo de empréstimo foi 127% maior no solo com cama de aviário que no solo com NPK (Tabela 4). A cama de aves apresenta altas quantidades de macronutrientes como P e N e alguns micronutrientes como Fe, Zn e Cu (COMISSÃO, 2016). Quando se avalia em conjunto o teor de P entre os ensaios e a produção de biomassa, pode-se constatar que a planta fez uso do nutriente como consumo de luxo, pois a

biomassa da parte aérea das plantas (Tabela 2) do tratamento CA não se diferenciou das plantas do solo com NPK. Os resultados ainda podem ter sido afetados pela menor quantidade de potássio presente no solo com CA. O potássio tem alta mobilidade entre células do xilema e floema, com relevância nos processos bioquímicos e fisiológicos da planta, principalmente no mecanismo da fotossíntese, a sua falta em quantidades adequadas pode afetar a formação de biomassa da gramínea (OOSTERHUIS *et al.*, 2014).

Quando se comparam os tratamentos de inoculação dentro de cada tipo de adubo, o teor de fósforo foi maior nos tratamentos FMA e FMA+Ai no solo com cama de aviário e apresentou maior valor no tratamento Ai no solo com fertilizante mineral (Tabela 4). Os FMA contribuem para o aumento da aquisição de fósforo no solo pela maior exploração do solo acarretado por sua formação de hifas, que armazenam esse nutriente na forma de polifosfatos, que são disponibilizados para as plantas (DUFF *et al.*, 1994; JAKOBSEN; HAMMER, 2015; LIMA, 2020). No solo com NPK, o tratamento Ai isolado teve os maiores teores de P. A alta quantidade de nutrientes no solo do tratamento CA pode ter inibido a eficiência da troca de nutriente entre planta e FMA. Segundo os critérios regionais para interpretação de análises de solos (COMISSÃO, 2016), o valor de 17,7 mg dm⁻³ de P em pastagens é classificado como médio a alto, maior que no solo com NPK, com 7,8 mg dm⁻³ de P, considerado baixo. O uso indiscriminado de adubos orgânicos ou minerais, pode trazer prejuízos para as plantas e para a microbiota presente no solo em geral ou próxima à raiz. A escolha da quantidade a ser utilizada deve levar em conta as fontes, necessidade nutricional da planta e um estudo prévio se possível de doses eficientes evitando assim a toxidez (REETZ-JUNIOR, 2017). Esse cuidado deve ser intensificado quando se utilizam microrganismos, aos quais podem ser sensíveis diminuindo sua eficiência ou causando sua morte.

O acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas do solo com CA teve maiores valores nos tratamentos NI, Ai, Af e FMA+Af, enquanto nos solos com NPK os maiores valores ocorreram nos tratamentos FMA, Ai e FMA+Ai (Tabela 4). Quando comparados os dois métodos de adubação, os tratamentos FMA, Ai e FMA+Ai obtiveram maiores acúmulos de N com a adubação química comparado com os mesmos tratamentos nos solos com CA (Tabela 4). Estes resultados demonstram a complexidade dessa interação e aponta para a necessidade de estudos com teores bem definidos desse nutriente no solo. Explorar mais os resultados as informações estão superficiais.

O acúmulo de nitrogênio mostrou maiores valores nos tratamentos FMA, Ai e FMA+Ai na adubação NPK que nos solos com CA. Isso indica que *Azospirillum brasilense* e

FMA, isolados ou combinados, foram mais eficientes nas condições do ensaio com adubo mineral, na promoção de acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas. O mesmo comportamento ocorreu em milho inoculado com *Azospirillum* (PICAZEVICZ, 2017) e em braquiária inoculada com fungos micorrízicos arbusculares (COSTA *et al.*, 2012). Os FMA podem ter contribuído de forma positiva, por terem ação direta e indireta na captação e absorção de nutrientes pela planta, visto que plantas colonizadas com FMA possuem maior capacidade de absorver macro e micronutrientes (MATOS; SILVA; LIMA, 1999).

O acúmulo de P das plantas nos distintos tratamentos teve comportamento similar ao teor de P. Em geral, ele foi maior nos tratamentos com CA que nos solos com NPK, mas os tratamentos de inoculação não se diferenciaram dentro dos tipos de adubação. Os tratamentos de adubação nos solos com CA não apresentaram diferença entre os tratamentos de inoculação, mas no solo com NPK, as plantas inoculadas com Ai tiveram valores de P acumulados superiores aos demais, chegando a até 53% de diferença (Tabela 4).

Ao longo do trabalho, constatou-se que as condições físicas e químicas do solo foram beneficiadas com a adição de cama de aviário, indicadas pelo incremento de P e aumento de matéria orgânica, o que melhora a estrutura do solo nas áreas que sofreram perturbação e estão sendo recuperadas. A cama de aviário mostrou-se melhor no estabelecimento inicial das plantas de *Paspalum notatum* e para colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares oriundos de inoculante comercial. O adubo orgânico, apesar de apresentar bons resultados na biomassa da parte aérea e aumento de K, não mostrou resposta na combinação com a inoculações de bactérias e fungos micorrízicos.

7. CONCLUSÕES

A introdução de cama de aviário promoveu maior crescimento das plantas de *Paspalum notatum* e aumentou o P e a matéria orgânica do solo de empréstimo.

A inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Rizophagus intraradices*, isolados ou combinados, não afetou o crescimento das plantas de *Paspalum notatum*.

Houve pouco efeito da inoculação com FMA no solo de empréstimo, que tinha fungos micorrízicos autóctones.

A inoculação de *Azospirillum brasilense* via foliar ou nas sementes não afetou a colonização das raízes pelo fungo micorrízico, e a adição de cama de aviário aumentou os teores de P no solo.

REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR, C. H *et al.* Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 769-780, 2012.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 5.ed. – Brasília: Aneel, 2007. 159 p.
- AGUIAR, C.D. & BALESTIERE, P.A.J. 2007. Carvão Mineral: um estudo sobre o consumo nacional e respectivas emissões de CO₂. Pp. 2-10. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A energia que move a produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade**. Paraná, Brasil.
- ALMEIDA, João Carlos de Carvalho *et al.* Produção e composição químico-bromatológica da grama-batatais (*Paspalum notatum* Flugge) dos gramados do campus da UFRRJ. **Revista Universidade Rural: Série Ciência da Vida**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p.48-53, jul. 2006.
- ARTURSSON, V. *et al.* Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. **Environmental Microbiology**, v.8, p.1-10, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO (Piracicaba). **Manual Internacional da Fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 186 p.
- BAGYARAJ, D. J *et al.* Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. **Current Science, Bangalore**, v. 108, p. 1288-1293, 2015.
- BALDANI, *et al.* Especificidade na infecção de raízes por *Azospirillum spp* em plantas com via fotossintéticas C3 e C4. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 1, p.325-330, maio/jun. 1949.
- BALOTA, Elcio Liborio *et al.* Interações e efeitos fisiológicos de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 11, p. 1335-1345, nov. 1995.
- BÁRBARO, I.M.*et al.* Produtividade da soja em resposta a inoculação padrão e coinoculação. **Colloquium Agrariae**, v. 5, n. 1, p. 01-07. 2009.
- BAREA, José M. *et al.* Microbial co-operation in the rhizosphere, **Journal of Experimental Botany** , v.56, Issue 417, July 2005, p. 1761–1778.
- BARRETO, I.L. **O gênero *Paspalum* (Graminaeae) no Rio Grande do Sul**. Tese Livre Docência – UFRGS. 258 p. 1974.
- BEHL, R.K *et al.* Interactions amongst mycorrhiza, *Azotobacter chroococcum* and root characteristics of wheat varieties. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v.189, p.151-155, 2003.

BELLONE, Carlos H. & SILVIA, Carrizo B. Interação de *Azospirillum brasilense* e *Glomus intraradix* em raízes de cana-de-açúcar. **Indian J Microbiol.** Mar de 2012; 52 (1): 70-5.

BELOLLI, Mário *et al.* **História do Carvão de Santa Catarina.** Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 2002. 300 p.

BERBARA, Ricardo L.L. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição. In: BERBARA, Ricardo L.L. *et al.* **Nutrição Mineral de Plantas.** Viçosa: Sbc, 2006. p. 54-79.

BERG, Gabriele. Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. **Applied Microbiology And Biotechnology**, [S.L.], v. 84, n. 1, p. 11-18, 1 jul. 2009. Springer Science and Business Media LLC

BERUDE, Marciana Christo *et al.* Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 132-146, 17 dez. 2015.

BIRÓ, B. *et al.* Interrelations between *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa in sterile, AMF-free or normal soil conditions. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.159-168, 2000.

BITENCOURT, Dioni Glei Bonini *et al.* Geração de drenagem ácida e de contaminação por metais pesados em perfis de solos construídos em área de mineração de carvão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 39, n. 6, p. 1821-1834, dez. 2015. Fap UNIFESP.

BONFANTE, P.F. & PEROTTO, S. Plants and endomycorrhizal fungi: the cellular and molecular basis of their interaction. In: VERMA, D.P.S. **Molecular Signals in Plant-Microbe Communications.** London: CRC Press, 1992. p. 445-470.

BORBA, Fabricia Bastos. **Caracterização química e física do solo de áreas de mata ciliar recuperadas pós-mineração de carvão em Santa Catarina.** 2013. 34 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Manejo do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

BORBA, M. F. & AMORIM, S.M.C. Fungos micorrízicos arbusculares em sempre-vivas: subsídio para cultivo de replantio em áreas degradadas. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Sergipe, v. 7, n. 2, p. 20-27, ago. 2007.

BOTEGA, Jéssica Luiza. **Compostagem e caracterização físico-química de substrato de cama de aviário: estudo de caso.** 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

BRASIL. Lei Federal nº 9.985/2000, **de 18 de julho de 2000.** Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Brasília: Congresso federal, 2000.

BRUNDRETT, M. *et al.* Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. **ACIAR Monograph** 32. 37. 1996. ISBN 186320 181 5.

CADORE, R. Associação entre *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em híbridos de milho, 2014. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Universidade Federal de Goiás), Jataí, 2014.

CAMPANER, V.P. & LUIZ-SILVA, W. Processos físico-químicos em drenagem ácida de mina em mineração de carvão no sul do Brasil. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 1, p. 146-152, 2009. Fap UNIFESP (SciELO).

CAMPOS, Mari Lucia *et al.* Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. **Revista de Ciência Agro veterinárias**, Lages, v. 9, n. 2, p. 198-205, set. 2010.

CANCELIER, Taise da Silva. **Contribuição para o equacionamento ambiental de áreas degradadas pela mineração de carvão – Estudo de caso: áreas de responsabilidade da União**. 2009. 153 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. VII, p.376-449.

CARDOSO, Elke J. B. N & NOGUEIRA, Marco A. Fungos micorrízicos mantêm sustentabilidade do SPD. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 9, p. 67-69, dez. 2009.

CARNEIRO, M.A.C *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:147-157, 2009.

CARNEIRO, Roberto Guimarães *et al.* Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 39, n. 7, p. 661-669, jul. 2004. Fap UNIFESP.

CARNEIRO, Romero Francisco Vieira *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 4, n. 43, p. 648-657, out. 2012.

CARNIATO, Antônio. Planejamento da produção e mistura de carvão mineral: programação matemática e estudo de caso. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CARENHO, R *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J.O *et al.* Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p.2016-249, 2010.

CAUICH, Rodrigo Cauich *et al.* Productividad de *Stevia rebaudiana* Bertoni con diferentes láminas de riego e inoculantes microbianos. **Nova Scientia**, [s.l.], v. 10, n. 20, p. 30-46, 25 maio 2018. Universidad de La Salle Bajío.

CHASE, Agnes & SMITH Albert Charles. **The North American Species of *Paspalum* Contributions from the United States National Herbarium**. [S.I.]: U.s. Government Printing Office, 1929. 237 p.

CHIBEBA, A.M *et al.* Inoculação de soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* promove nodulação precoce. In: **VII Congresso Brasileiro de Soja – MercoSoja**, Goiânia, 2015.

CITADINI-ZANETTE, Vanilde. Diagnóstico ambiental da região carbonífera no sul de Santa Catarina: Recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão. **Revista Tecnológica Ambiente**, Criciúma, v. 5, n. 2, p. 51-61, dez. 1999.

COLODETE, Carlos Moacir *et al.* Novas perspectivas da simbiose micorrízica e seus facilitadores transmembrânicos na interface da troca bidirecional de nutrientes minerais: REVISÃO. **Biologia e Saúde**, Campos dos Goytacazes, v. 12, n. 4, p. 8-21, fev. 2014.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS-NRS, 2004. 394 p.

CONCÓRDIA. Julio Cesar Pascale Palhares. Embrapa Suínos e Aves (org.). **Manejo Ambiental na Avicultura**. Concórdia: Embrapa, 2011. 226 p.

CONTI, Raphael *et al.* Aprendendo com as interações da natureza: microrganismos simbiotes como fontes de produtos naturais bioativos. **Ciência e Cultura**, [S.L.], v. 64, n. 3, p. 43-47, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21800/s0009-67252012000300014>.

COSTA, Newton de Lucena *et al.* Efeito de micorrizas arbusculares sobre o crescimento e nutrição mineral de *Brachiaria brizantha* cv. marandu. **Ciência Animal Brasileira**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 406-411, 14 dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.5216/cab.v13i4.8665>.

COSTA, Samara Maria Lopes; MELLONI, Rogério. Relação de fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias no crescimento de mudas de oliveira (*Olea europaea*). **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 169, 4 abr. 2019. Universidade Federal de Santa Maria.

COSTA, Samuel & ZOCHE, Jairo José. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 665-674, ago. 2009. Fap UNIFESP.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa *et al.* Desenvolvimento radicular e aéreo, nutrição e eficiência de absorção de macronutrientes e zinco por cultivares de arroz de terras altas afetadas pela adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 34, n. 5, p. 2061, 17 out. 2013. Universidade Estadual de Londrina.

CUNHA, Fernando Nobre *et al.* Efeito da *Azospirillum brasilense* na produtividade de milho no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 3, p.261-272, dez. 2014.

DA-SILVA, Emanuela Pille. **Atributos do solo e comunidades microbianas associadas à bracatinga (*Mimosa scrabella Benth.*) Em áreas de mineração de carvão em recuperação.** 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DE-ALMEIDA, D.S. Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). In: **Recuperação ambiental da Mata Atlântica** [online]. 3rd ed. rev. and enl. Ilhéus, BA: Editus, 2016, pp. 140-158. ISBN 978-85-7455-440-2.

DE-ALMEIDA, DS. Recuperação ambiental da Mata Atlântica [online]. 3rd ed. **rev. and enl.** Ilhéus, BA: Editus, 2016, 200 p. ISBN 978-85-7455-440-2.

DE-SOUZA, F.A. *et al.* Morphological, ontogenetic and molecular characterization of *Scutellospora reticulata* (Glomeromycota). **Mycol. Res**, 109: 697-706, 2008.

DE-SOUZA, Francisco Adriano *et al.* **Micorrizas arbusculares: Perspectiva para aumento da eficiência de aquisição de fósforo (P) em Poaceae – Gramíneas.** Sete Lagoas: EMBRAPA milho e Sorgo. 30 p. 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Anuário Mineral Brasileiro.** Brasília: DNPM, 2010.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.22, p.107- 149, 2003.

DÔBEREINER, Johanna. *Azotobacter paspali* sp. Uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 357-365, fev. 1966.

DUARTE-SILVA, Renata Dill *et al.* Produção de espécies nativas do gênero *Paspalum* semeadas para recuperação de áreas degradadas. In: XXV Congresso de Iniciação Científica Universidade Federal de Pelotas, 2., 2016, Pelotas. **2ª Semana Integrada de Pesquisa, Ensino e Extensão UFPEL 2016.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2016. p. 1-4.

DUFF, S.M.G. *et al.* The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Plant Physiology**, v.90, p.791-800, 1994.

ELKE, J.B.N. *et al.* Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J.O *et al.* **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil.** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010. p.153-214.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.** Embrapa. Acre. 2003. 29 p.

EPELDE, L. *et al.* Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 1-12, 2014.

FALEIRO, Alexandro César. **Análise da interação de *Azospirillum brasilense* FP2 com raízes de milho (*Zea mays*) por qPCR, microscopia eletrônica e proteômica**. 2014. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais D, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

FERNANDES, M. M. *et al.* Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* benth.) e Andiroba (*Carapa guianensis* aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.2, p. 163-175, 2006.

FERREIRA, D.A.; CARNEIRO, M.A.C.; SAGGIN JUNIOR, O.J. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 51-61, fev. 2012.

FERREIRA, E. P. B. *et al.* Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 177-183. 2010.

FERREIRA, Evaldo de Melo *et al.* Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. Monografias Ambientais. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 228-246, 01 jan. 2016. Universidade Federal de Santa Maria.

FERREIRA, J. P. *et al.* *Azospirillum brasilense* via foliar e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo na região de Itapeva-SP. **Brazilian Journal Of Biosystems Engineering**, Itapeva, v. 2, n. 11, p. 154-163, mar. 2017.

FILIPINI, Leticia Dambroz *et al.* Application of *Azospirillum* on seeds and leaves, associated with *Rhizobium* inoculation, increases growth and yield of common bean. *Archives Of Microbiology*, [S.L.], p. 1-6, 2 nov. 2020.

FOLLI-PEREIRA, Muriel da Silva *et al.* Arbuscular mycorrhiza and plant tolerance to stress. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.36, n.6, p.1663-1679. 2012.

FONG, M *et al.* Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste. *Shanghai. Shangai Environ. Sci.* 18:91–93. 1999.

FONSECA, Livia Maria Ferraz da. **Inoculação com estirpes de *Azospirillum* e adubação nitrogenada no acúmulo de nutrientes e produtividade de milho**. 2014. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João del Rei, Sete Lagoas, 2014.

FOX, J.E. Rehabilitation of mined lands. *Forestry Abstract*, v. 45, p.565-600p, 1984.

FRAGOSO, Rosimeri de Oliveira *et al.* Barreiras ao estabelecimento da regeneração natural em áreas de pastagens abandonadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 27, p. 1451-1464, out. 2017.

FRANZINI, Vinicius Ide *et al.* Interactions between *Glomus* species and *Rhizobium* strains affect the nutritional physiology of drought-stressed legume hosts. **Journal Of Plant Physiology**, [S.L.], v. 167, n. 8, p. 614-619, maio 2010. Elsevier BV.

FURMANSKI, Luana Milak *et al.* Recuperação de áreas degradadas por mineração e beneficiamento de carvão mineral no sul catarinense: a atuação da assessoria técnica do ministério público federal. In: **10º Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**, Foz do Iguaçu, Paraná. 2014.

GEORGE, T.S.; DOU, D.; WANG, X. Plant–microbe interactions: manipulating signals to enhance agricultural sustainability and environmental security: manipulating signals to enhance agricultural sustainability and environmental security. **Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 80, n. 1, p. 1-3, 4 maio 2016. Springer Science and Business Media LLC.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v.46, n.2, p.235-244, 1963.

GERMANI, Darcy José. Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral. **A mineração no Brasil**. 2002. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/a-finep/fontes-de-orcamento/fundos-setoriais/ct-mineral/a-mineracao-no-brasil.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2020.

GERVAZIO, Wagner *et al.* Uso de Microrganismos Eficientes (Em) na Recuperação de Solos Degradados. **Cadernos de Agroecologia**, [S.l.], v. 9, n. 4, feb. 2015. ISSN 2236-7934. Disponível em: <<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/16530>>. Acesso em: 04 mai. 2020.

GIASSI, Maristela Gonçalves. **Meio Ambiente e Saúde: A convivência com o carvão** (Dissertação de Mestrado em Educação) UFSC, Florianópolis SC. 135p. 1994.

GIBBENS, R.P.; LENZ, J.M. Root systems of some Chihuahuan Desert plants. **Journal of Arid Environments**, v.49, n.2, p.221-263, 2001.

GOMES SOARES, Sueli Aparecida, *et al.* Efeito de bactérias na germinação de fungos micorrízicos arbusculares e coinoculação em mudas de abacaxizeiro. **Revista Caatinga**, vol. 22, núm. 2, abril-junio, 2009, pp. 31-38 Universidade Federal Rural do Semi-Árido Mossoró, Brasil

GOMES, A. P. *et al.* Carvão fóssil. **Estudos avançados**, v.12, n.33, p.89-106. 1998.

GRIMALDI, Fernanda *et al.* Seleção de estirpes de rizóbio para *Mimosa scabrella Benth.* In: FERTBIO, 2012., 2012, Maceió. **FERTBIO 2012**. Maceió: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 1-3.

GRYNDLER, M. Interações de fungos micorrízicos arbusculares com outros organismos do solo. In: Kapulnik Y, Douds Jr DD, eds. Micorrizas arbusculares: fisiologia e função. Dordrecht, Holanda: **Kluwer Academic Publishers**, 2000. 239–262.

GUIMARÃES, Salomão Lima *et al.* Crescimento e desenvolvimento inicial de *Brachiaria decumbens* inoculada com *Azospirillum spp.* **Enciclopédia Biofera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p.286-295, nov. 2011.

HAHN, Leandro. **Processamento da cama de aviário e suas aplicações nos agroecossistemas**. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HANCKE, Aloma. **Avaliação da cama de aviário in natura e compostada produção de cenoura (*Daucus carota* L.)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Engenharia Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. Francisco Beltrão, 2018.

HARRISON, M.J. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Ann. R. Microbiol.**, 59:9-42, 2005.

HIPPLER, Franz Walter Rieger; MOREIRA, Milene; DIAS, Naissa Maria Silvestre; HERMANN, Emilio Rodolfo. Fungos micorrízicos arbusculares nativos e doses de fósforo no desenvolvimento do amendoim RUNNER IAC 886. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 605-610, set. 2011.

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347 p., 1950.

HUNGRIA, Mariângela. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina. Embrapa Soja, 36 p. 2011. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.325)

INVAM - **International culture collection of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi**. Disponível em: <<http://invam.caf.wvu.edu>>. Acesso em: 10 de fev. de 2020.

JACKSON, R. B.; HOFFMANN, W.A. Vegetation-climate feedbacks in the conversion of tropical savanna to grassland. **Journal of Climate**, v.13, p.1593-1602, 2000.

JAKOBSEN, I., HAMMER, E. C., 2015. Nutrient dynamics in arbuscular mycorrhizal networks. In: Horton, T. R. (Ed.) *Mycorrhizal networks: ecological studies*. Springer: Dordrecht, p. 91– 132.

JENKINS, W. R. A. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease Report**, [s.l.], v.48, p.692, 1964.

JUNIOR, O.; SILVA, E. Micorriza Arbuscular – Papel, Funcionamento e Aplicação da Simbiose. **Miolo biota**, p.101-150, 2006

KAMIMURA, Carolina Toshie et al. Avaliação da atividade antimicrobiana de extratos de *Helianthus tuberosus* L. e *Smallanthus sonchifolius* em cama de frangos. **Atas de Saúde Ambiental-ASA**, v. 6, p. 34-45, 2018.

KIRIACHEK, Soraya Gabriela *et al.* Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 1-16, fev. 2009.

KLEIN, Alessandro Schardosim *et al.* Regeneração natural em área degradada pela mineração de carvão em Santa Catarina, Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, [s.l.], v. 62, n. 3, p. 297-304, set. 2009.

KOHLRAUSCH, F. & JUNG, C.F. Áreas ambientais degradadas: causas e recuperação. Área temática: Gestão Ambiental & Sustentabilidade. In: **Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 22 p. 2015.

KOSKE, Richard E.; GEMMA, Jane N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, Gran Bretanha, v. 94, n. 4, p.486-488, jun. 1989.

LAMBAIS, M.R. Unraveling the signaling and signal transduction mechanisms controlling arbuscular mycorrhiza development. **Sci. Agric.**, 63:405-413, 2006.

LAX, Paola *et al.* Effect of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on the false root-knot nematode *Nacobbus aberrans* in tomato plants. **Biology And Fertility Of Soils**, [s.l.], v. 47, n. 5, p. 591-597, 14 dez. 2010. Springer Science and Business Media LLC.

LEAL, O. A. *et al.* Estoques de matéria orgânica de um solo construído após a mineração de carvão com diferentes idades de implantação de gramíneas. 2008. In: **III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral**, Gramado – RS. 2008.

LEITE, R.C. *et al.* Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. **Crop Pasture Sci.** 2019;70:61-7.

LI, Tao *et al.* Relative importance of an arbuscular mycorrhizal fungus (*Rhizophagus intraradices*) and root hairs in plant drought tolerance. **Mycorrhiza**, [s.l.], v. 24, n. 8, p. 595-602, 18 abr. 2014. Springer Science and Business Media LLC.

LICKS, Paulo César *et al.* Avaliação do processo erosivo em áreas degradadas por empréstimo de solo com a introdução de *Paspalum notatum*. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 2, n. 2, p. 5-23, fev. 2008.

LIMA, R.L. F.de A.; SALCEDO, Ignácio H.; FRAGA, V.da S. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes em fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 31, n. 2, p. 257-268, abr. 2007. Fap UNIFESP.

LIMA, Regina Lúcia Félix de Aguiar. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Petrolina, v. 13, n. 3, p. 1062-1079, 17 mar. 2020.

LOPES, André Alves de Castro. **Interpretação de indicadores microbiológicos em função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho**. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

LUNARDI-NETO, Antônio et al. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 1379-1388, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000400002>.

MACEDO, Isaías C. **Estado da arte e tendências tecnológicas para a energia**. [S.l.]: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Ciência, Tecnologia e Inovação, 2003.

MARRO, Nicolás *et al.* Use of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* as biological control agent of the nematode *Nacobbus aberrans* parasitizing tomato. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, [S.I.], v. 57, n. 5, p. 668-674, out. 2014.

MATOS, Fernando Bernardo *et al.* Uso de *Azospirillum brasilense* para o aumento da eficiência da adubação nitrogenada em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasil, v. 16, n. 1, p.131-141, jan. 2017.

MATOS, R.M.B.; SILVA, E.M.R. da; LIMA, E. Fungos micorrízicos e nutrição de plantas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 1999 36p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 98).

MCGONIGLE, T.P. et al. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v.115, n.3,p.495-501, 1990.

MELLONI, R. *et al.* Densidade e diversidade fenotípica de bactéria diazotrófica endofítica em solos de mineração de bauxita, em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p.85-93, jan. 2004.

MELLONI, Rogério; SIQUEIRA, José Oswaldo; MOREIRA, Fátima Maria de Souza. Fungos Micorrízicos Arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 38, p. 267-276, fev. 2003.

MENDONÇA, Johny de Jesus *et al.* Colonização micorrízica de *Paspalum millegrana* por fungos micorrízicos arbusculares nativos e exóticos. In: **III Reunião Nordestina de Ciência do Solo**. Aracaju, 4p. 2016.

MENEGHINI, J.W.; BACK, M.; CUNHA, Y.de M. Contribuição do levantamento das características do solo no projeto de recuperação de uma área degradada pela mineração de carvão a céu aberto no município de Treviso (SC). **Revista Iniciação Científica**, Criciúma, v. 9, n. 1, p.1-15, jan. 2011.

MERGULHÃO, Adália Cavalcanti do Espírito Santo *et al.* Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. **Hoehnea**, [s.l.], v. 41, n. 3, p. 393-400, set. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Caderno De Licenciamento Ambiental**. Brasília, 2009. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/ultimo_caderno_pnc_licenciamento_caderno_de_licenciamento_ambiental_46.pdf. Acesso em 07 de abr. de 2020.

MINTER (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de revegetação**. Brasília – IBAMA. 1990. 96 p.

MIYAUCHI, Marina Yumi Horta *et al.* Interactions between diazotrophic bacteria and mycorrhizal fungus in maize genotypes. **Scientia Agricola**, [S.l.], v. 65, n. 5, p. 525-531, 2008.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras. Editora UFLA. 2002.

MOTTA NETO, João Antonio. **Avaliação do uso de forrageiras e de adubações na recuperação de propriedades químicas e físicas de um solo degradado pela mineração do xisto**. 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pósgraduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

MUMBACH, G.L *et al.* Response of inoculation with *Azospirillum brasilense* in wheat and corn of second crop. **Revista Scientia Agraria**. 2017. v.18, n.2, p.97-103.

MURPHY, J.; RILEY, J.P.. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, [S.L.], v. 27, p. 31-36, 1962. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0003-2670\(00\)88444-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0003-2670(00)88444-5).

NAHAS, Ely. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. **Bragantia**, [s.l.], v. 61, n. 3, p. 267-275, dez. 2002.

NAIR, M.G.; SAFIR, G. R. & SIQUEIRA, J.O. Isolation and identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza-stimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. **Appl. Environ. Microbiol.**, 57:434-439, 1991.

NAKAO, Allan Hisashi *et al.* Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculantes (*Azospirillum brasilense*) via foiar. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 10, n. 18, p.2702-2714, jul. 2014.

NUNES, Flancer Novais *et al.* Atividade de fosfatases em gramíneas forrageiras em resposta à disponibilidade de fósforo no solo e à altura de corte das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 5, p. 1899-1909, out. 2008.

NUNES, Pedro Henrique Marques Paula *et al.* Produtividade do trigo irrigado submetido a aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p.174-182, jan. 2015.

OLIVEIRA, João Ricardo Gonçalves de *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias promotoras de crescimento na aclimatização de zingiber spectabile. **Bragantia**, [S.L.], v. 69, n. 3, p. 687-694, 2010.

OOSTERHUIS, Derrick M. *et al.* The Physiology of Potassium in Crop Production. **Advances In Agronomy**, [S.L.], p. 203-233, 2014.

PADILHA, Peterson et al. Técnicas de restauração de áreas degradadas em unidades de conservação. In: **IV Seminário de Pesquisa em Planejamento e Gestão Territorial**. “As mudanças climáticas globais e suas implicações na ocupação do espaço geográfico. UNESCO, 18 p. 2013.

PAULA, M.A *et al.* Synergistic effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and diazotrophic bacteria on nutrition and growth of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Biology and Fertility of Soils**, v.14, p.61-66, 1992.

PEREIRA, A.R; LUCENA, L. A. B.; SANTOS, C. M. Como selecionar plantas para uso no controle da erosão e áreas degradadas e proteção e recuperação de margens de cursos d'água. In: **III CICES IECA**, 2006, Buenos Aires. III CICES IECA, 2006.

PEREIRA, Aloiso Rodrigues. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Belo Horizonte, MG. Editora Fapi.150 p. 2006.

PEREIRA, Marsílvio G. *et al.* Interações entre fungos micorrízicos arbusculares, rizóbio e actinomicetos na rizosfera de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 12, p. 1249-1256, dez. 2013.

PEZENTE, Daniel Pazini; SANT ANA, William de Oliveira. EVOLUÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS CONSTRUÍDOS EM ÁREAS DE PASSIVO AMBIENTAL DA MINERAÇÃO DE CARVÃO, LAURO MULLER-SC. **Revista Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v. 24, n. 1, p. 146-158, jan. 2018.

PICAZEVICZ, Angelita Aparecida Coutinho. **Crescimento do milho em resposta a Azospirillum brasilense, Rhizobium tropici, molibdênio e nitrogênio** 2017. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2017.

PINHO, Vinicius Barreto; PREVE, Daniel Ribeiro. Atividade carbonífera em Criciúma: instrumentos jurídicos e sua aplicabilidade na recuperação de áreas degradadas pela exploração de carvão mineral em Criciúma/SC. In: **XII Seminário Internacional de Demandas Sociais e Políticas Públicas na Sociedade Contemporânea**, 20 p. 2015.

PORTUGAL, José Roberto *et al.* Inoculação via foliar com *Azospirillum brasilense* associada a doses de nitrogênio em cobertura na cultura de milho safrinha. In: **XII Seminário Nacional Milho Safrinha**. Dourados, 2013.

POZZOBOM, M. T.; VALSS, J. F. M. Chromosome number in germplasm accessions of *Paspalum notatum* (Gramineae). **Brazilian Journal of Genetics**, v. 20, n. 1, p. 29-34, 1997.

QUADROS, Patrícia Dorr de. **Diversidade e composição de comunidades microbianas de solos construídos e de solos sob diferentes manejos agrícolas**. 2013. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

QUINONES, Oscar Rafael Gadea *et al.* Características de solos construídos após mineração de carvão relacionadas ao processo de construção e à composição do material utilizado. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 38, n. 6, p. 1564-1571, set. 2008.

RADWAN, T.E.E.; MOHAMED, Z.K.; REIS, V.M. Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p.987-994, out. 2004.

RAMOS, A.C; MARTINS, M.A. Fisiologia de Micorrizas Arbusculares. In: SIQUEIRA, José Oswaldo et al (ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. Cap. 5. p. 133-152.

RAVAZZOLI, Cláudia. The coal environmental problematic in Santa Catarina: its evolution until the conduct adjustment terms current between 2005 and 2010. **Geografia em Questão**, Marechal Cândido Rondon, v. 6, n. 1, p.179-201, jan. 2013.

REETZ JUNIOR, Harold F. **Fertilizantes e seu Uso Eficiente**. São Paulo: Anda, 2017. 179 p. Tradução de: Alfredo Scheid Lopes.

REGENSBURGER, B.; COMIN, J.J.; AUMOND, J.J. Integração de técnicas de solo, plantas e animais para recuperar áreas degradadas. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 38, n. 6, p. 1773-1776, set. 2008.

REIS JUNIOR, F. B. *et al.* Identificação de isolados de *Azospirillum amazonense* associados a *Brachiaria spp.*, em diferentes épocas e condições de cultivo e produção de fitormônio pela bactéria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p.103-113, jan./fev. 2004.

REIS, V.M. *et al.* Interações de fungos micorrízicos arbusculares com outros microrganismos do solo. In: SIQUEIRA, José Oswaldo et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010. p.361-382.

RIBEIRO, R.H. *et al.* Seed and leaf inoculation with *Azospirillum brasilense* and increasing nitrogen in wheat production. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 1-8, 30 set. 2018.

ROCHA-NICOLEITE, E. *et al.* **Mata Ciliar, implicações técnicas sobre a restauração após mineração de carvão. Projeto Mata Ciliar**. Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina. 80p. Criciúma. 2013.

ROSA, Poliana Aparecida Leonel. **Acúmulo de matéria seca e extração de nutrientes por híbrido de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* no cerrado**. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2017.

ROSOLEM, Ciro Antonio et al. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milheto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 813-819, out. 2006. FapUNIFESP (SciELO).

RUBENS, B. *et al.* The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture a review. **Trees**, v.21, p.385-402, 2007.

SAHRAWAT, K. L. How fertile are semi-arid tropical soils? **Soil and Water Management**, v.110, p. 1671-1674, 2016.

SAID, S. & PIETRO, R.L.R. Enzimas de interesse industrial e biotecnológico. **Liv. Ed. Eventos**. p. 80-90, 2002.

SALA, Valéria Marino Rodrigues; FREITAS, Sueli dos Santos; SILVEIRA, Adriana Parada Dias da. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 42, n. 11, p. 1593-1600, nov. 2007.

SALGADO, Fabricio Henrique Moreira *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and colonization stimulant in cotton and maize. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 47, n. 6, p.1-16, 2017.

SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barretto *et al.* Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 995-1002, fev. 2007.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. Subsecretaria de Estudos Geográficos E Estatísticos. **Atlas geral - Santa Catarina**. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 120-33 p. 1991.

SANTOS, A. C. *et al.* Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p.1063-1071, jan. 2001.

SANTOS, G.A; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. 508 p.

SANTOS, Jorge Antônio Gonzaga. **Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração** / Jorge Antônio Gonzaga Santos. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017.44 p.

SANTOS, Loana Bergamo dos *et al.* Substituição da adubação nitrogenada mineral pela cama de frango na sucessão aveia/milho. **Biosci. J**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 272-281, jul. 2014.

SANTOS, Rogério Pires. Avaliação da taxa de colonização por fungos micorrízicos arbusculares em solo em consórcio com resíduos de corte de granito e macrófita aquática. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 690-703, 27 abr. 2018. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL.

SER (Estados Unidos). Society For Ecological Restoration. **Society For Ecological Restoration-SER**. 2020. Disponível em: <https://www.ser.org/page/about>. Acesso em 07 abr. 2020.

SHUKLA, M. K; LAL, R; EBINGER, M. Soil quality indicators for reclaimed minesoils in southeastern Ohio. **Soil Science**, v. 169, p. 133–142, 2004.

SILVA, A. A *et al.* Efeito da adubação orgânica no crescimento do capim *Brachiaria brizantha* cv. marandu em parecis/rondônia. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Goiânia-GO, v. 9, n. 16, p. 923 - 932, 2012.

SILVA, AndrÉia Aparecida de Oliveira *et al.* *Azospirillum brasilense* action in wheat (variety IAC 24) and barley plants (variety CEV 95033) development. **Conscientiae Saúde**, São Paulo, v. 3, n. 1, p.29-35, jan. 2004.

SILVA, Felipe Ferreira da *et al.* Characterization of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi in areas impacted by gravel mining in Brazil. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 32, n. 4, p. 995-1004, dez. 2019.

SILVA, G.L.S. *et al.* Algumas considerações sobre o sistema radicular de plantas forrageiras. **PUBVET**, Londrina, V. 8, N. 6, Ed. 255, Art. 1687, Março, 2014.

SILVA, Jaqueline de Santana da; SANTOS, Sharlene da Silva; GOMES, Felipe George Gatti. A biotecnologia como estratégia de reversão de áreas contaminadas por resíduos sólidos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental: REGET**, Santa Maria, v. 4, n. 18, p. 1361-1370, dez. 2004.

SILVA, L.M.; FERREIRA, R.L. Impacto ambiental pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 54-71, mar. 2015.

SILVA, M.L.; ANDRADE, M.C.K. Os impactos ambientais da atividade mineradora. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 11, n. 6, p. 68-82, fev. 2017.

SILVA, Manoel Messias Pereira da *et al.* Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 1, p. 67-74, fev. 2006.

SILVA, Maria José Andrade da. **Indústria carvoeira e degradação: Decrescimento como perspectiva de superação da problemática socioambiental no Sul Catarinense**. 2019. 298 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia Humana, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

SILVA, R.D.D. *et al.* Produção de espécies nativas do gênero *Paspalum* semeadas para a recuperação de áreas degradadas. In: **XXV Congresso de Iniciação Científica Universidade Federal de Pelotas**, Pelotas, 2016. 5 p.

SILVEIRA, R.B.; MELLONI, R.; PEREIRA, E.G. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 21-29, 15 abr. 2004.

SIQUEIRA, J.O; FRANCO, A.A. **Ciências Agrária nos Trópicos Brasileiros. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília, MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1988. 235p.

SIQUEIRA, J.O. *et al.* Spores, germination, and germ tubes of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi. **Canadian Journal of Microbiology** 31: 965–997, 1985.

SIVASAKTHIVELAN, P.; SARANRAJ, P. *Azospirillum* and its Formulations: A Review. **International Journal of Microbiological Research**, Tamil Nadu, v. 3, n. 4, p. 275-287, fev. 2013.

SMITH, R.; GRANDO, M.; LI, Y. Transformação de capim-bahia (*Paspalum notatum* Flugge). **Plant Cell Rep** 20, 1017-1021. 2002.

SMITH, S. E. F. A. A.; READ, D. F. R. S. **Mycorrhizal symbiosis**. 3 Ed. Academic Press, 2008.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997. 605 p.

SOARES, C.R.F.S. & CARNEIRO, M.A.C. Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. *In*: SIQUEIRA, José Oswaldo et al. (ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. Cap. 15. p. 441-474.

SOARES, Evaldo Rodrigues *et al.* Cinza e carbonato de cálcio na mitigação de drenagem ácida em estéril de mineração de carvão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 171-181, fev. 2006.

SOARES, Paulo Sergio Moreira *et al.* **Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. 2008. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2039/1/carvão_brasileiro_tecnologia_e_meio_ambiente.pdf. Acesso em: 01 abr. 2020.

SOCIEDADE INTERNACIONAL PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA (Estados Unidos). **Fundamentos de Restauração Ecológica**. 2004. Grupo de Trabalho em Ciência & Política. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/2004_12%20Fundamentos%20de%20Restauracao.pdf. Acesso em: 07 abr. 2020.

SOUSA, Carmem C. M. de. *et al.* Initial development and chemical components of sugarcane under water stress associated with arbuscular mycorrhizal fungi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 19, n. 6, p. 548-552, jun. 2015.

SOUZA FILHO, A.P.S. Interferência potencialmente alelopática do capim-gengibre (*Paspalum maritimum*) em áreas de pastagens cultivadas. **Planta Daninha**, [s.l.], v. 24, n. 3, p.451-456, set. 2006.

SOUZA, A.; MORAES, M.G.; RIBEIRO, R.C.L.F. Gramíneas do cerrado: carboidratos não-estruturados e aspectos eco fisiológicos. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 90, n. 1, p. 81-90, jul. 2004.

SOUZA-MOREIRA, Fatima Maria de *et al.* Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, p. 74-99, nov. 2010.

STOFFEL, Shantau Camargo Gomes *et al.* Yield increase of soybean inoculated with a commercial arbuscular mycorrhizal inoculant in Brazil. **African Journal of Agriculture**, [s.l.], v. 5, n. 16, p. 702-713, maio 2020.

STOFFEL, Shantau Camargo Gomes. **Inoculante Micorrízicoa base de Rhizophagus intraradices no crescimento e nutrição de culturas de importância agrícola**. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos

Vegetais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

STUMPF, Lizete *et al.* Estrutura de um solo construído cultivado com diferentes espécies de poáceas. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 44, n. 12, p.2171-2177, dez. 2014.

STUMPF, Lizete. **Desenvolvimento radicular de gramíneas perenes e sua eficiência na recuperação de atributos físicos de um solo construído compactado em área de mineração de carvão**. 2015. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

TEDESCO, M. J *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

THÉLIER-HUCHÉ, L.; FARRUGGIA, A.; CASTILLON, P. L'analyse d'herbe: un outil pour phosphate et potassique des prairies naturelles et temporaires. **Institut de L'Élevage**, Juin, 1999.

TOY, T.J.; DANIELS, W.L. Reclamation of disturbed lands. In: MAYER, R.A. (Ed.) **Encyclopedia of environmental analysis and remediation**. New York: John Wiley, 1998 p. 4078-4101.

TRINDADE, Aldo Vilar; FARIA, Nelita Gonçalves; ALMEIDA, Florício Pinto de. Uso de esterco no desenvolvimento de mudas de mamoeiro colonizadas com fungos micorrízicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 35, n. 7, p. 1389-1394, jul. 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2000000700013>.

TSIMILLI-MICHAEL, M *et al.* Synergistic and antagonistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers on the photosynthetic activity of alfalfa, probed by the polyphasic chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Applied Soil Ecology**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 169-182, out. 2000. Elsevier BV.

USSIRI, David A. N.; LAL, Rattan. Carbon Sequestration in Reclaimed Minedsoils. **Critical Reviews In Plant Sciences**, [s.l.], v. 24, n. 3, p.151-165, mai. 2005. Informa UK Limited.

VALADÃO, Franciele Caroline de Assis *et al.* Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 35, n. 6, p. 2073-2082, dez. 2011.

VALADARES, R. B. S. *et al.* Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. Microbiologia do solo. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

VALENTINI, A.; Bonetto, L. R.; Vargas, J. **Vantagens e Desvantagens de Fertilização Orgânica e Inorgânica: uma visão geral**. V MOSTRA IFTEC CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Rio Grande Do Sul. n. 5, 2016.

VASCONCELOS, S.S *et al.* Effects of seasonality, litter removal and dry-season irrigation on litterfall quantity and quality in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.24, p.27-38, 2008.

VOGEL, Gabriel Felipe; MARTINKOSKI, Lais; RUZICKI, Marielli. Efeitos da utilização de *Azospirillum brasilense* em poáceas forrageiras: Importâncias e resultados. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 10, n. 1, p. 01-06, mar. 2014.

VOLPATO, Terezinha Gascho. **A Pirita Humana - Os mineiros de Criciúma**. Ed. UFSC e Assembléia Legislativa do Estado de Santa Catarina. 69 p. 1984.

VRIEZE, J. de. The littlest farmhands. **Science**, [s.l.], v. 349, n. 6249, p. 680-683, 13 ago. 2015. American Association for the Advancement of Science (AAAS).

ZAIED, K.A. *et al.* Yield and nitrogen assimilation of winter wheat inoculated with new recombinant inoculants of rhizobacteria. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 4, p. 344-358, 2003.

ZANELATTO, J.H. & GOULARTI FILHO, A. Carvão e ferrovia: ecos de progresso e disputas políticas no Sul Catarinense na Primeira República. **Estudios históricos** – CDHRPyB. Ano VI. n. 12. 2014.

ZOCHE, J.J. Metais pesados (Fe, Mn e Zn) no solo construído e na vegetação das antigas bacias de decantação do lavador de Capivari, Capivari de Baixo, SC. *In: VI Simpósio Nacional e Congresso Latino- Americano. Recuperação de Áreas degradadas*. Curitiba, PR. p. 117-123.2005.

ZORTÉA, Talyta *et al.* Toxicidade do cobre em função da correção do pH em dois solos naturais: Uma abordagem com plantas e organismos edáficos. **Scientia Agraria**, [s.i.], v. 17, n. 1, p.1-9, jan. 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Análise de variância da Massa seca da raiz (MSR), Massa seca da parte aérea (MSPA) e altura aos 35 dias de *Paspalum notatum*.

| FV | GL | MSR | MSPA | ALTURA 35 DIAS |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| TRATAMENTO | 5 | 0,0143 | 0,8968 | 0,9153 |
| ADUBO | 1 | 0,2807 | 0,006 | 0,0000 |
| TRATAMENTO*ADUBO | 5 | 0,231 | 0,0467 | 0,823 |
| ERRO | 84 | | | |
| CV% | | 8,17 | 8,95 | 11,68 |
| TRANSFORMADO | (X+0,5) ^{0,5} | (X+0,5) ^{0,5} | (X+0,5) ^{0,5} | (X+0,5) ^{0,5} |

Fonte: da autora (2021).

APÊNDICE B. Análise de variância do Número de esporos, Colonização %, Arbúsculos (Arb %) e Vesículas (Ves %) de *Paspalum notatum*.

| FV | GL | Nº ESPOROS | COLONIZAÇÃO % | ARB % | VES % |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| TRATAMENTO | 5 | 0,0365 | 0,1745 | 0,1737 | 0,284 |
| ADUBO | 1 | 0,3065 | 0,4624 | 0,9342 | 0,0513 |
| TRATAMENTO*ADUBO | 5 | 0,3824 | 0,0293 | 0,0196 | 0,1273 |
| ERRO | 84 | | | | |
| CV% | | 34,44 | 30,05 | 33,14 | 41,74 |
| TRANSFORMADO | (X+0,5) ^{0,5} |

Fonte: da autora (2021).

APÊNDICE C. Análise de variância do N teor, P teor, N acumulado e P acumulado da massa seca da parte aérea de *Paspalum notatum*.

| FV | GL | N TEOR | P TEOR | N ACUMULADO | P ACUMULADO |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| TRATAMENTO | 5 | 0,0061 | 0,0108 | 0,5244 | 0,3124 |
| ADUBO | 1 | 0,5207 | 0,0000 | 0,0009 | 0,0000 |
| TRATAMENTO*ADUBO | 5 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0000 | 0,0695 |
| ERRO | 84 | | | | |
| CV% | | 6,8 | 5,16 | 10,97 | 9,65 |
| TRANSFORMADO | (X+0,5) ^{0,5} |

Fonte: da autora (2021).